ELECTRONICĂ APLICATĂ

ELECTRONICĂ APLICATĂ

3

ŞERBAN NAICU

EMIL MARIAN

101 MONTAJE PRACTICE DE AMPLIFICATOARE AUDIO DE PUTERE

EDITURA

NAȚIONAL

ISBN 973–9308–45–7

Ing. Șerban Naicu Ing. Emil Marian

101 MONTAJE PRACTICE de AMPLIFICATOARE AUDIO de PUTERE

Editura Național
1998

„ELECTRONICA APLICATĂ“ la cel de-al 3-lea titlu

Acest al treilea titlu al seriei se adresează cu predilecție utilizatorilor de aparataj electroacustic, constructorilor electroniști amatori sau profesioniști, dar și celor interesați de proiectarea, realizarea și, în final, utilizarea montajelor audio de mare fidelitate.

„101 MONTAJE PRACTICE DE AMPLIFICATOARE AUDIO DE PUTERE“ reprezintă o lucrare destul de amplă, reunind în paginile ei atât noțiuni teoretice de bază, pentru cei doritori să înțeleagă mai bine domeniul amplificatoarelor de audiofrecvență, cât și un număr mare de scheme practice de astfel de echipamente electroacustice.

Prima parte a lucrării prezintă în mod concis aspecte teoretice legate de etajele funcționale care intră în componența amplificatoarelor de A.F., clasele de funcționare ale acestora, calculul puterii livrate și distorsiunile neliniare introduse de aceste etaje funcționale. Aspectele teoretice ale lucrării conțin, în final, o metodologie de verificare a amplificatoarelor de audiofrecvență.

În sfârșit, partea a doua a lucrării, cea mai apreciată probabil de către constructorii electroniști, cuprinde un număr foarte mare de amplificatoare audio realizate cu tuburi electronice, cu tranzistoare și cu circuite integrate. Sunt prezentate scheme simple de amplificatoare audio realizate cu un număr mic de componente electronice, având o putere redusă, dar și scheme complexe, de mare performanță, realizate cu cele mai noi și competitive circuite integrate specializate.

Gradul progresiv de complexitate și performanță al amplificatoarelor de audiofrecvență prezentate reflectă, pe de o parte continua ridicare a ștachetei performanței în acest domeniu atât de iubit de mare public audiofil, dar oferă, pe de altă parte, și constructorului electronist șansa de a-și alege montajul care-i este la îndemână.

Sunt prezentate montaje electronice selecționate cu grijă de către autori, de la simplu la complex, în paralel cu criteriul de putere livrată. Majoritatea schemelor sunt însoțite de elemente constructive, alături de explicarea funcționării acestora sunt date caracteristicile electrice principale, elemente de reglaj și de construcție (inclusiv desenul cablajului imprimat).

Într-un domeniu, cel al audiofrecvenței, care nu duce lipsă de apariții editoriale diverse, lucrarea de față are un specific aparte și o utilitate deosebită: este vorba despre caracterul extrem de practic al lucrării, cu trimitere directă către constructorii electroniști, dar și spre cei care doresc o îmbogățire a cunoștințelor lor în acest domeniu.

Autorii au consultat o bibliografie foarte amplă și diversă, cu informații la zi, aducând în fața publicului o lucrare modernă și unitară.

Alături de primele două lucrări oferite cititorilor de către colecția de carte „ELECTRONICA APLICATĂ“ și care sperăm că au fost pe gustul dvs., nădăjduim că și această carte vine să împlinească dorința noastră de a oferi cititorilor cea mai bună colecție de carte de electronică care a fost editată vreodată în țara noastră.

Ing. Șerban Naicu

Coordonator al colecției „ELECTRONICA APLICATĂ“

P.S. Reamintim cititorilor noștri că se pot comanda cărțile apărute în cadrul acestei serii printr-o solicitare pe adresa: S.C. NAȚIONAL IMPRIM S.A., str. Jean Louis Calderon, nr. 35, sector 1, București, telefon 01.314.94.31.

1. CONSIDERAȚII TEORETICE

1.1.ETAJELE FUNCȚIONALE DIN COMPONENȚA AMPLIFICATORULUI DE AUDIOFRECVENȚĂ DE PUTERE

Funcția esențială a unui amplificator de audiofrecvență de putere este preluarea unui semnal audio de ordinul sutelor de milivolți și amplificarea acestuia în tensiune și curent, în așa fel încât în final să fie posibil transferul dorit de energie electrică către impedanța de sarcină (grupul de difuzoare din incinta acustică). Amplificatorul de audiofrecvență trebuie să realizeze o amplificare de putere, deci atât amplificarea în curent, cât și amplificarea în tensiune a semnalului de audiofrecvență inițial. Orice amplificator audio de putere prezintă următoarele blocuri funcționale distincte:

- etajul de intrare;
- etajele de amplificare intermediară;
- etajul pilot;
- sursa de tensiune constantă, destinată polarizării etajului final;
- etajul final;
- etajul de protecție la suprasarcini;
- etajul de reacție negativă globală.

Schema bloc a unui amplificator de audiofrecvență de putere este prezentată în **figura 1.1.**

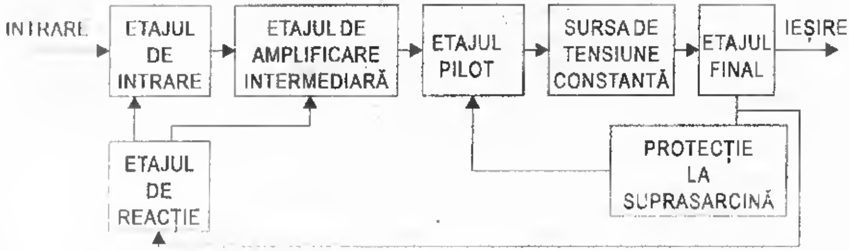


Figura 1.1 Schema bloc a amplificatorului de putere

Etajul de intrare îndeplinește următoarele funcțiuni:

- adaptarea dintre impedanța de ieșire a sursei de semnal și impedanța de intrare a amplificatorului;
- amplificarea liniară în tensiune a semnalului de intrare în toată banda de audiofrecvență;
- preluarea din etajul final a unei fracțiuni din semnalul de ieșire, pentru realizarea reacției negative globale ce reglementează amplificarea generală totală a amplificatorului.

În funcție de complexitatea soluției adoptate în ceea ce privește schema electrică generală a amplificatorului, etajul de intrare poate să conțină unul sau mai multe tranzistoare amplasate într-o astfel de configurație încât să fie îndeplinite toate considerentele menționate anterior. Totodată caracteristica de transfer intrare-ieșire a etajului de intrare trebuie să prezinte o liniaritate maximă în zona activă de lucru, pentru evitarea apariției distorsiunilor neliniare (THD, TID etc.). O altă cerință imperioasă proprie etajului de intrare este realizarea lui folosind atât configurația schemei electrice, cât și componente electrice pasive și active, astfel încât acesta să prezinte un zgomot propriu minim.

Etajele de amplificare intermediară realizează amplificarea în tensiune a semnalului de audiofrecvență preluat la etajul de intrare. Configurația etajelor de amplificare intermediară este astfel aleasă încât funcționarea lor să fie situată în zona de liniaritate maximă a caracteristicilor de transfer globale. Datorită acestui fapt etajele de amplificare intermediară prezintă aproape întotdeauna bucle de reacție negativă locală sau globală. Totodată, în scopul evitării apariției distorsiunilor neliniare, amplificarea semnalului audio se face numai în banda de audiofrecvență. În acest scop, aproape totdeauna sunt prevăzute filtre pasive sau active, care limitează banda de trecere a etajelor de amplificare intermediară la limita zonei frecvențelor audio înalte.

La majoritatea amplificatoarelor de audiofrecvență de putere, banda de audiofrecvență este situată în domeniul 20 Hz – 20 kHz. În ceea ce privește zgomotul propriu etajelor de amplificare intermediară, se iau aceleași precauții ca și la etajul de intrare.

Etajul pilot realizează amplificarea finală în tensiune proprie amplificatorului de audiofrecvență. Funcțiile esențiale ale etajului pilot sunt următoarele:

– amplificarea finală în tensiune a semnalului de audiofrecvență preluat de la etajele de amplificare intermediară;

– funcționarea liniară în întreaga bandă de audiofrecvență, în ceea ce privește caracteristica de transfer intrare-ieșire;

– furnizarea curentului de comandă tranzistoarelor din etajul final, fără ca acest lucru să deranjeze liniaritatea caracteristicii de transfer proprie etajului pilot.

Datorită acestor considerente, în mod frecvent etajul pilot conține unul sau mai multe tranzistoare cu amplificare mare, ultimul dintre ele fiind de putere medie. Totdeauna etajul pilot funcționează în clasa A.

Sursa de tensiune constantă este necesară polarizării tranzistoarelor din etajul final, astfel încât acestea să funcționeze în zona caracteristicilor de transfer liniare. Majoritatea surselor de tensiune constantă prezintă o configurație de tip superdiodă (folosirea unui tranzistor ca diodă) datorită următoarelor avantaje:

– obținerea cu ușurință (acționarea unui potențiometru semireglabil) a tensiunii necesare polarizării tranzistoarelor din etajul final;

– asigurarea optimă a compensării termice, într-o gamă largă de temperaturi, necesare bunei funcționări a tranzistoarelor din etajul final. În acest scop, tranzistorul din montajul superdiodă se amplasează fizic pe radiatoarele tranzistoarelor finale, izolat electric, dar într-un contact intim din punct de vedere termic;

– reglajul simplu și eficient al curentului de mers în gol propriu etajului final.

Etajul final

Una dintre cele mai importante părți ale amplificatorului de audiofrecvență este etajul final. Funcțiile lui esențiale sunt următoarele:

– preluarea semnalului de audiofrecvență de la etajul pilot care a realizat amplificarea maximă în tensiune a semnalului audio;

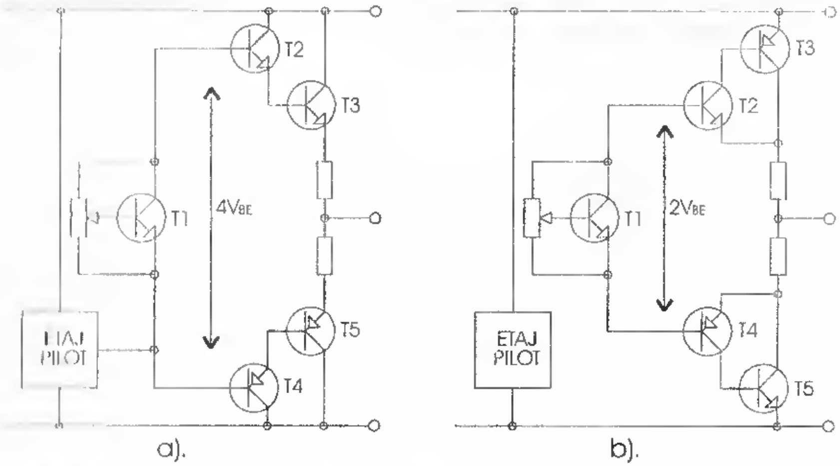
– amplificarea în curent, deci practic în putere, a semnalului audio furnizat de etajul pilot;

– adaptarea impedanței de ieșire a amplificatorului de putere cu impedanța de sarcină (impedanța difuzoarelor proprii incintei acustice);

– furnizarea unei părți din semnalul de ieșire amplificat blocului de reacție, în scopul controlului permanent al amplificării generale a semnalului audio de către etajul de reacție negativă globală.

Din considerentele menționate anterior, etajul final are de cele mai multe ori o configurație de tip repetor pe emitor, fapt confirmat de soluțiile constructive alese pentru majoritatea amplificatoarelor de audiofrecvență de putere. Pentru obținerea unui randament maxim, în mod frecvent se alege funcționarea etajului final în clasa AB, deci practic o combinație de două secțiuni tip repetor pe emitor. Este cunoscut faptul că un tranzistor de putere, cu cât lucrează cu curenți mai mari, prezintă un factor de amplificare în curent de valoare redusă ($h_{21E} = 20 \div 40$).

Deoarece etajul pilot lucrează cu un curent de ordinul miliamperilor (cel mult zeci de miliamperi), iar pentru tranzistoarele finale proprii unui amplificator de audiofrecvență de putere este necesar un curent de comandă de ordinul sutelor de miliamperi, se recurge frecvent la folosirea unui montaj de tranzistoare, tip dublet sau triplet, cu un amplasament similar celui prezentat în **figura 1.2.**



Realizarea etajului final:
a) tranzistoare de putere de același tip;
b) tranzistoare de putere complementare.

Figura 1.2

Se observă că varianta din **figura 1.2.b.** este mai avantajoasă, deoarece ea permite polarizarea etajului final cu o sursă de tensiune continuă de valoare mult mai redusă decât în varianta din **figura 1.2.a**. Excursia în tensiune a etajului pilot prezintă în cele două cazuri următoarele valori:

$U_a = U_A - U_{SAT} - 4\,V_{BE}$

$U_b = U_A - U_{SAT} - 2\,V_{BE}$

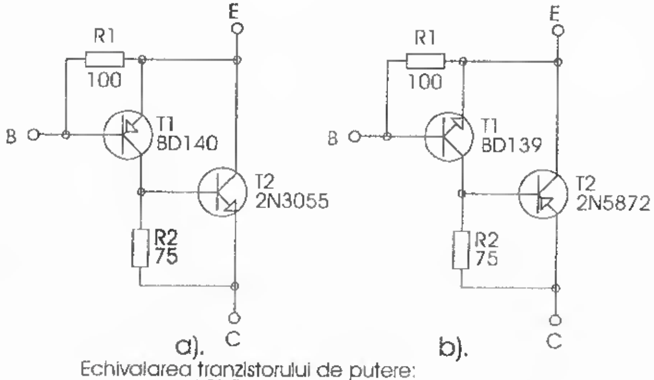
unde: U – excursia în tensiune a etajului pilot;

U_A – tensiunea de alimentare;

U_{SAT} – tensiunea de saturație a tranzistorului final din etajul pilot;

V_{BE} – tensiunea bază-emitor a unui tranzistor.

Se observă imediat inegalitatea Ua < Ub. Deoarece Ua și Ub reprezintă limitele tensiunii alternative a semnalului audio care se regăsește la ieșirea etajului final, varianta de polarizare din **figura 1.2.b.** permite obținerea unei puteri mai mari, deci este mai avantajoasă. Din aceste considerente majoritatea etajelor finale moderne sunt realizate conform variantei din **figura 1.2.b.** De multe ori se întâmpină dificultăți la construcția etajului final, din cauza imposibilității procurării unuia din tranzistoarele finale de tip PNP. Această dificultate se poate elimina folosind un montaj adecvat, conform căruia funcționarea unui tranzistor de putere de o anumită structură să poată fi echivalată de funcționarea altui tranzistor de putere de structură opusă. În **figura 1.3.** se prezintă așa numiții „dubleți" în conexiune super-G, care împreună cu două rezistențe amplasate corespunzător permit echivalarea menționată anterior. Rezistențele s-au amplasat datorită faptului că în conexiunea super-G dubletul posedă un factor de amplificare în curent foarte mare ($\beta_{ECH} \approx \beta_1\beta_2$). Cele două rezistențe au rolul de a micșora amplificarea generală a dubletului și în același timp de a obține un curent rezidual I_{CEO} de valoare redusă. În acest fel, β_{ECH} și I_{CEO} proprii dubletului prezintă valori foarte asemănătoare cu cele ale tranzistorului echivalent. În **figura 1.3.a.** este prezentată schema electrică a unui dublet de putere de tip PNP (cel complementar tranzistorului 2N3055), iar în **figura 1.3.b.** schema electrică echivalentă unui tranzistor NPN. Pentru ambele variante $\beta_{ECH} = 50$, iar $I_{CEO} \approx 4\ \mu A$. În vederea obținerii unei amplificări de curent și mai mari (la etaje finale de 50 ÷ 100 W) se folosesc scheme electrice de tip „triplet", care includ trei tranzistoare și o serie de rezistențe amplasate corespunzător.



Echivalarea tranzistorului de putere:
-a).PNP;
-b).NPN.

Figura 1.3

În **figura 1.4.a.** este prezentată schema electrică a unui triplet de tip PNP, varianta 1, iar în **figura 1.4.b.** este prezentată schema electrică, varianta 2. Rezistența R_E se amplasează obligatoriu, în scopul realizării unei reacții negative de curent, care, deși reduce din puterea totală transmisă de triplet, oferă următoarele avantaje funcționale:

– previne ambalarea termică a tranzistorului final de putere;

– reduce factorul de distorsiuni (tip THD, TID etc);

– reduce posibilitatea de apariție a unor oscilații nedorite în etajul final;

– reduce diferențele în ceea ce privește timpii de comutație ai celor două structuri echivalente NPN și PNP, îmbunătățind funcționarea etajului final la frecvențe ridicate.

Valoarea rezistenței R_E se calculează în funcție de puterea etajului final, avându-se în vedere ca, în momentul debitării puterii nominale de către acesta, tensiunea la bornele rezistenței R_E să fie de circa 0,6 ÷ 0,7 V.

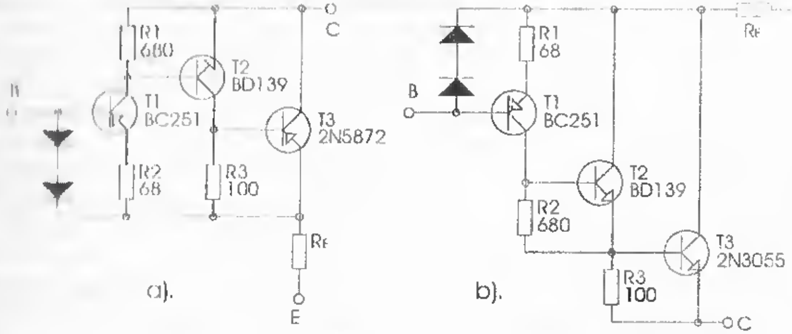


Figura 1.4

În tabelul 1 se prezintă valorile rezistenței R_E în funcție de puterea etajului final, atunci când impedanța incintei acustice are valoarea de 4 Ω sau 8 Ω. Valorile sunt date pentru o serie de puteri nominalizate din gama 10W ÷ 100W . În aceleași tabele se prezintă valorile eficace ale tensiunii de ieșire V_{RMS}, valorile tensiunii vârf-la vârf V_{VV} și valorile curentului nominal de ieșire I_N debitat de etajul final (în momentul în care amplificatorul livrează puterea nominală). Folosind aceste date, constructorul poate dimensiona cu ușurință elementele proprii etajului final, și anume tensiunea de alimentare, protecția (electronică sau cu siguranță fuzibilă), tensiunea la care se acționează CLIPPING-ul etc.

Exemplu de calcul:

Date inițiale: P = 30W ; Z = 4 Ω

$V_{RMS} = \sqrt{P \cdot Z} = \sqrt{30 \cdot 4} = 10{,}95$ V

$V_{VV} = 2\sqrt{2}\ V_{RMS} = 2\sqrt{2} \times 10{,}95 = 30{,}97$ V

$I_N = V_{RMS}/Z = 10.95/4 = 2{,}74$ A

$R_E = 0{,}7/I_N = 0{,}7/2{,}74 = 0{,}255\ \Omega$. Se alege $R_E = 0{,}27\Omega$

$V_{RE} = I_N R_E = 2{,}74 \times 0{,}27 = 0{,}74$ V

$V_A = V_{VV} + V_{CESAT(T1)} + V_{CESAT(T2)} + 2\ V_{RE}$

unde: V_{CESAT} = tensiunea de saturație a tranzistorului final (la curentul I_N);

V_{RE} = tensiunea la bornele rezistenței R_E;

V_A = tensiunea de alimentare a amplificatorului.

Dacă se găsesc valorile $V_{CESAT(T1)} = 1{,}5$ V ; $V_{CESAT(T2)} = 1{,}5$ V

$V_A = 30{,}97 + 1{,}5 + 1{,}5 + 2 \times 0{,}74 = 35{,}45$ V

Tabelul 1

Z = 4 Ω								
P_W	10	20	30	40	50	60	80	100
V_{RMS}[V]	6,32	8,34	10,95	12,65	14,14	15,49	17,88	20
V_{VV}[V]	17,87	25,28	30,97	35,77	39,98	43,8	50,56	56,56
R_E[Ω]	0,47	0,33	0,27	0,22	0,22	0,18	0,15	0,15
$2V_{RE}$[V]	1,48	1,475	1,477	1,39	1,55	1,39	1,34	1,5
I_M[A]	1,58	2,235	2,737	3,16	3,54	3,87	4,47	5

Z = 8 Ω								
P_W	10	20	30	40	50	60	80	100
V_{RMS}[V]	8,94	12,65	15,43	17,88	20	21,9	35,3	29,28
V_{VV}[V]	25,28	35,77	43,8	50,56	56,56	61,93	71,54	79,97
R_E[Ω]	0,68	0,47	0,39	0,33	0,27	0,27	0,22	0,22
$2V_{RE}$[V]	1,5	1,48	1,5	1,475	1,35	1,47	1,39	1,55
I_M[A]	1,11	1,58	1,93	2,235	2,5	2,73	3,162	3,535

În mod practic, la valoarea V_A calculată se adaugă 2 ÷ 3 V pentru a avea o rezervă de putere și a compensa fluctuațiile rețelei de alimentare. Folosind datele din **tabelul 1**, se poate determina cu ușurință puterea nominală a unui amplificator, cunoscând inițial impedanța incintei acustice și măsurând ulterior valoarea tensiunii V_{RMS}. Măsurarea se face obligatoriu folosind un semnal de intrare sinusoidal. Utilizând aceste date constructorul poate alege cu ușurință varianta optimă de etaj final proprie amplificatorului audio de putere realizat.

Etajul de reacție negativă globală

Acest etaj funcțional are rolul reglementării în mod continuu a amplificării generale proprii amplificatorului de audiofrecvență de putere. De cele mai multe ori, etajul reacției negative globale este format din unul sau mai multe grupuri RC conectate între ieșirea amplificatorului de audiofrecvență de putere (deci, etajul final) și etajul de intrare. În acest fel, o fracțiune din tensiunea de ieșire se aplică etajului de intrare, realizându-se astfel bucla de reacție negativă necesară. Condensatoarele prezente în grupurile RC au rolul de aplicare a tensiunii alternative preluate de la ieșirea etajului final, blocând totodată tensiunea continuă proprie polarizării diferite a celor două blocuri funcționale. Totodată, un alt rol al condensatoarelor este limitarea în frecvență (atât capătul inferior, cât și capătul superior al benzii de audiofrecvență) a amplificării generale proprie amplificatorului de audiofrecvență de putere, evitându-se astfel amplificarea unor semnale electrice alternative din afara benzii de audiofrecvență.

Etajul de protecție la suprasarcină

Etajul de protecție la suprasarcină poate avea două configurații de bază, și anume:

– protecția la suprasarcină prin limitarea curentului livrat de etajul final;

– protecția la suprasarcină prin limitarea amplitudinii semnalului audio amplificat.

În ambele cazuri, se evită funcționarea etajului final în regim de suprasarcină, eliminându-se în acest fel posibilitatea de ambalare termică a acestuia și supraîncărcarea etajului de alimentare.

1.2. CLASE DE FUNCȚIONARE ALE ETAJULUI FINAL DIN AMPLIFICATORUL DE AUDIOFRECVENȚĂ DE PUTERE

Amplificatorul de semnale electrice alternative trebuie să dezvolte în sarcină o anumită putere, cu un randament cât mai bun și cu distorsiuni minime. Reglajul puterii dezvoltate de amplificator se face aproape întotdeauna prin modificarea

nivelului semnalului alternativ de intrare. Impedanța de sarcină a unui amplificator de audiofrecvență este difuzorul, iar puterea transmisă acestuia variază în limite mari, de la câțiva miliwați (volum minim) până la zeci de wați (volum maxim), în funcție de valoarea dorită. În scopul optimizării caracteristicilor de transfer intrare-ieșire, s-au imaginat niște modalități de funcționare a tranzistoarelor utilizate ca amplificatoare, indiferent de conexiunea în care lucrează. Astfel au apărut așa numitele **clase de funcționare**. Tranzistoarele din amplificatoarele de audio-frecvență de putere pot funcționa ca amplificatoare (de curent sau de tensiune) în următoarele clase: clasa A, clasa B, clasa AB, clasa C și clasa D. Alegerea clasei de funcționare și a conexiunii de lucru a tranzistoarelor se face în funcție de amplificarea în tensiune sau curent cerută, puterea maximă și distorsiunile minime admise (THD, TID etc). Se menționează că, montând tranzistoarele în conexiunea tip emitor comun, se obține cea mai mare amplificare de putere. În același timp, conexiunea de tip colector comun conduce la cele mai simple scheme de amplificare în curent, evitând etajele de adaptare suplimentară între ieșirea amplificatorului și impedanța de sarcină (spre exemplu, transformatorul de ieșire). În continuare se prezintă clasele de funcționare ale amplificatorului de audiofrecvență și caracteristicile lor.

Amplificatoare în clasă A

Schema electrică de principiu și caracteristicile de funcționare statice și dinamice ale unui amplificator în clasa A sunt prezentate în **figura 1.5.** S-a ales pentru exemplificarea modului de funcționare un montaj al tranzistorului aflat într-o conexiune de tip emitor comun. Se observă că, pentru obținerea unui randament maxim, polarizarea etajului de amplificare trebuie astfel făcută încât, în regim de repaus, tensiunea din colectorul tranzistorului să prezinte valoarea:

$U_{CO} = U_{CE\,max}/2$

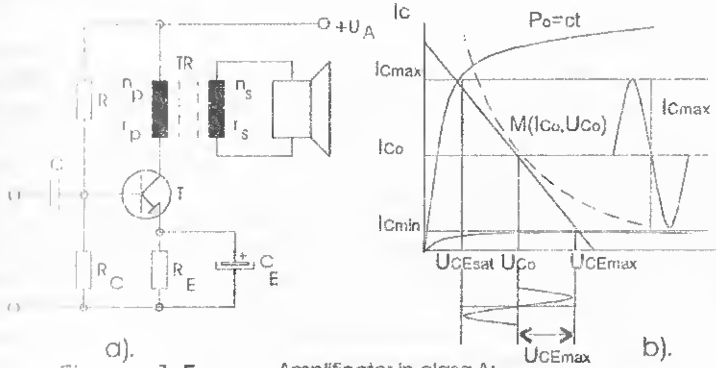


Figura 1.5 Amplificator in clasa A:
-a).Schema electrica;
-b).Caracteristicile de functionare.

În absența semnalului de intrare tranzistorul se află în punctul static de funcționare $M(U_{CO}, I_{CO})$, ale cărui coordonate tensiune-curent satisfac ecuația dreptei de sarcină în regim static:

$U_C = U_A - (R_E + r_p) I_C$, unde:

R_l = rezistența de sarcină echivalentă;

r_p = rezistența înfășurării primare a transformatorului TR.

Este necesar totodată ca puterea disipată $P_d = U_{CE} \times I_C$ să se afle în permanență sub valorile situate pe caracteristica dinamică ce constituie hiperbola de disipație termică a tranzistorului. În regim dinamic, punctul de funcționare al tranzistorului se deplasează pe dreapta de sarcină proprie regimului dinamic de funcționare, a cărei ecuație este:

$U_C = -R_E \times i_C$
$R_E = r_p + (n_p/n_s)^2 (r_s + R_s)$

Semnul (–) al primei relații reflectă antifaza dintre variațiile tensiunii de colector U_C și cele ale curentului de colector i_C. Puterea utilă P_u prezintă valoarea:
$P_u = u_{max}/2 \times i_{max}/2 . K^2_a/2 \times U_A I_C$.

K_a reprezintă factorul de utilizare a tensiunii de alimentare U_A.
$K_A = U_C$ max/$U_{CO} = U_{C\,max} / U_A = U_A - U_{CE\,sat}/U_A = i_{c\,max}/I_C$
Puterea disipată P_d are valoarea:
$P_d = U_A \times I_C - P_u$' iar
$P_{d\,max} = U_A \times I_C$
Randamentul acestei clase de funcționare este:
$\eta_A = \eta_{TR} \times P_u/P_d = 0,45 \div 0,5$, unde η_{TR} = randamentul transformatorului de ieșire.
Analizând relațiile prezentate anterior, se observă că mai mult de jumătate din puterea preluată de la sursa de alimentare P_A se pierde prin disipație termică. Din această cauză etajele de amplificare din clasa A se folosesc numai în cazul când puterea utilă P_u și puterea disipată P_d au valori mici, iar amplificarea în tensiune cerută în cazul montajului este mare (spre exemplu, la montajul pilot). Avantajul funcționării unui amplificator în clasa A îl constituie însă obținerea unei amplificări mari în tensiune, alături de un procent foarte redus de distorsiuni.

Amplificatoare în clasă B

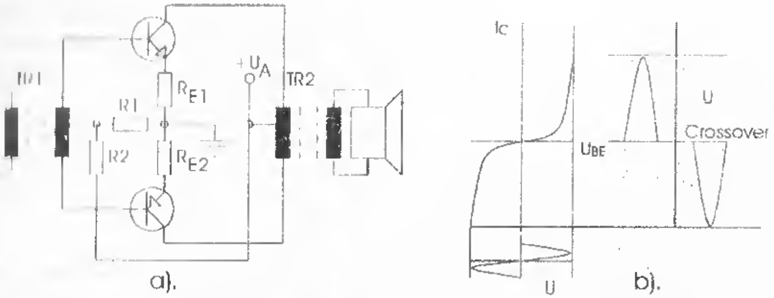
Aceste tipuri de amplificatoare folosesc două tranzistoare care amplifică pe rând (unul semialternanța pozitivă, iar celălalt semialternanța negativă) semialternanțele semnalului alternativ de intrare. Randamentul maxim se obține atunci când puterea absorbită de la sursa de alimentare, care are valoarea tensiunii U_A, este proporțională cu mărimea semnalului de intrare. Puterea în regim static de funcționare (în lipsa semnalului de intrare) este neglijabilă, deoarece tranzistoarele care lucrează în clasă B au punctul static de funcționare corespunzând unui curent de bază $I_b \cong 0$, iar curenții de colector I_C sunt neglijabili. Un exemplu de schemă electrică a unui amplificator în clasa B este prezentat în **figura 1.6.a.** Caracteristicile statice și dinamice de funcționare sunt prezentate în **figura 1.6.b.** Se observă că, datorită transformatorului defazor TR_1, cele două semialternanțe ale semnalului alternativ de intrare se aplică succesiv pe bazele tranzistoarelor T_1 și T_2. Acestea realizează amplificarea în putere pentru fiecare semialternanță a semnalului de intrare alternativ, iar transformatorul de ieșire TR_2 reface forma de undă a semnalului alternativ, realizând totodată și adaptarea de impedanță amplificator – sarcină (difuzor). Pentru eliminarea distorsiunilor de neracordare a celor două semialternanțe (CROSS-OVER), în momentul în care curenții de colector sunt mici, se polarizează corespunzător bazele tranzistoarelor T_1 și T_2, cu ajutorul divizorului de tensiune R_1, R_2. Datorită acestui fapt se obține totuși un mic curent de mers în gol (iar clasa reală de funcționare devine AB), absolut necesar pentru eliminarea inconvenientului

menționat anterior. Puterea utilă, cea absorbită de la sursa de alimentare și cea disipată se calculează conform relațiilor:

$P_u = 1/2\, U_C \max \times I_C \max = K_a^2/2\, U_A I_C \max$

$P_a = U_A I_C \max$ (în regim sinusoidal)

$P_d = P_a - P_u = U_A I_C \max (2/\pi - Ka^2/2)$



Amplificator in clasa B:
-a).Schema electrica;
-b).Caracteristicile de functionare.

Figura 1.6

Randamentul unui etaj de amplificare în clasa B este:

$\eta_B = \eta_{TR2} \times Pu / Pa \cong 0{,}785\, \eta_{TR2} K_a$

Puterea disipată maximă Pd pentru care se dimensionează radiatoarele tranzistoarelor finale (sau radiatorul comun) se obține în cazul în care $K_A = 2/\pi$

$P_{d\,max\,T} = P_{d\,max} / 2 = 1/\pi^2\, U_A I_{CM} = 1/\pi^2 \times 2\, P_u / K_a^2 < P_{T\,max}$.

$P_{T\,max}$ – puterea maximă disipată de transformator

Concluziile și relațiile funcționale sunt valabile pentru toate montajele în clasa B, indiferent de configurația etajului final (contratimp, cu tranzistor defazor și condensator de ieșire, push-pull, cu tranzistoare complementare etc.) Randamentul unui montaj în clasa B, bine dimensionat, este $\eta \cong 0{,}6 \div 0{,}7$, față de randamentul unui montaj în clasa A : $\eta \cong 0{,}4$.

Amplificatoare în clasă AB

O clasă intermediară de funcționare între clasa A și clasa B este clasa de funcționare AB. Caracteristica acestei clase de funcționare este faptul că, în absența semnalului alternativ de intrare, prin tranzistoarele finale circulă, datorită sistemului de polarizare, un curent (numit curent de mers în gol) mai mic decât cel caracteristic clasei A și mai mare decât cel specific clasei B. Poziția intermediară a punctului static de funcționare $M(U_{CO}, I_{CO})$ este determinată de polarizarea corespunzătoare a tranzistoarelor finale. Majoritatea etajelor finale de putere lucrează în clasa AB, datorită bunei comportări în ceea ce privește randamentul și distorsiunile (THD). Relațiile de calcul pentru puterile P_d, P_a și P_u sunt similare cu cele folosite la amplificatoarele în clasa B. Caracteristicile statice și dinamice de funcționare ale unui amplificator în clasă AB sunt prezentate în **figura 1.7.** Configurațiile de bază în ceea ce privește schemele electrice de lucru (indiferent de polarizarea în clasa B sau AB) sunt următoarele:

– amplificator simetric în contratimp, cu tranzistor defazor și transformator de ieșire – **figura 1.8.**;

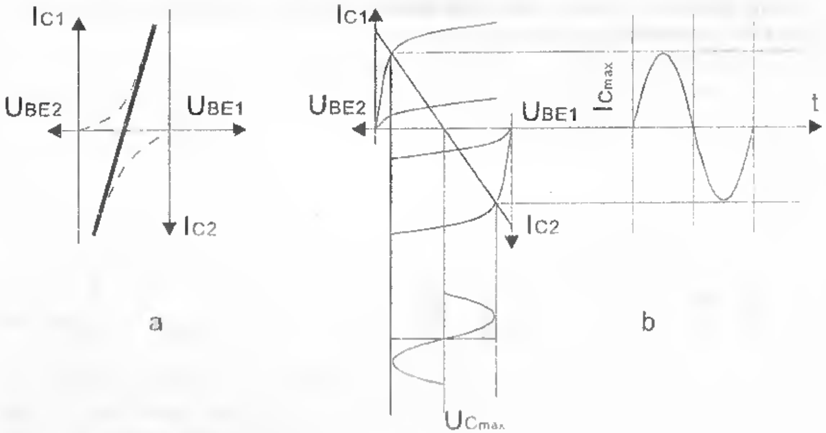


Figura 1.7 Caracteristicile de funcționare ale amplificatorului în clasa AB: a) caracteristica statică b) caracteristicile dinamice

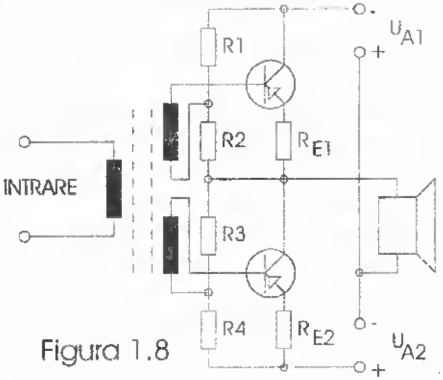


Figura 1.8

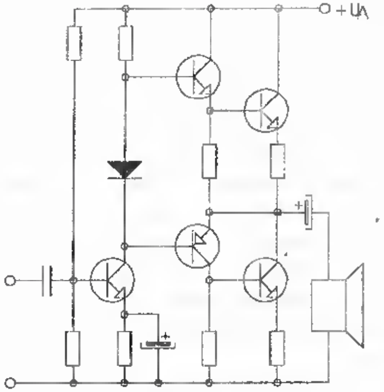


Figura 1.9

– amplificator în contratimp cu tranzistoare complementare fără transformator de ieșire – **figura 1.9.**;

– amplificator în clasă AB, sistem Mullard, în modul Π, **figura 1.10**. Acest tip de amplificator lucrează cu un curent total comandat, iar amplitudinea semnalului de intrare determină, datorită configurației electrice, clasa de funcționare, după cum urmează:

– până la 40% din putere – clasa A;

– 40% – 90% din putere – clasa AB;

– > 90% din puterea totală – clasa B.

Amplificatorul Mullard se remarcă printr-un procent de distorsiuni THD foarte redus.

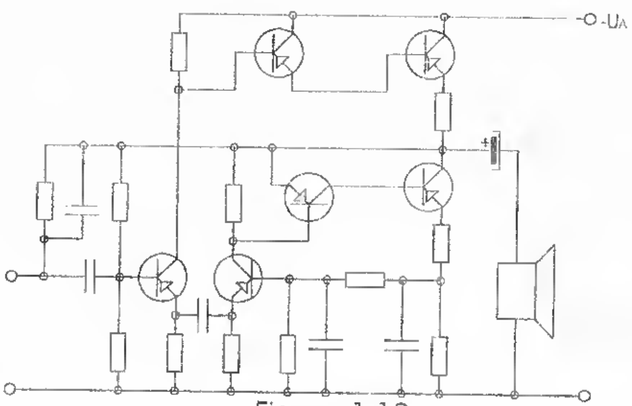


Figura 1.10

Amplificatoare în clasă C

Un amplificator în clasa C conține etajul final polarizat astfel încât excursia de tensiune a fiecărei semialternante depășește limitele tensiunii de blocare sau ale tensiunii de saturație a elementelor active din montaj (tranzistoare sau tuburi electronice). În acest fel, curentul I_C circulă mai puțin de o semiperioadă completă. În cazul amplificatoarelor cu tuburi electronice, această clasă de funcționare se folosește atunci când practic tensiunea de negativare a grilei de comandă este mai mare decât tensiunea de blocare a tubului electronic. Vârful impulsului de curent anodic devine în acest caz aplatizat, datorită apariției curentului de grilă la „vârful" semialternanțelor pozitive, fapt care duce la o repartiție nedorită a fluxului de electroni de la catod înspre grilă și anod. În **figura 1.11.** se prezintă funcționarea unui etaj de amplificare în clasele A, B și C, indicându-se cum depinde semnalul de ieșire de punctul de funcționare ales. Amplificatoarele în clasa C nu se utilizează decât în cazul unor montaje speciale (în amplificatoarele de radiofrecvență), deoarece această clasă de funcționare implică un procent mare de distorsiuni (clipping) inadmisibil la un amplificator de audiofrecvență de putere.

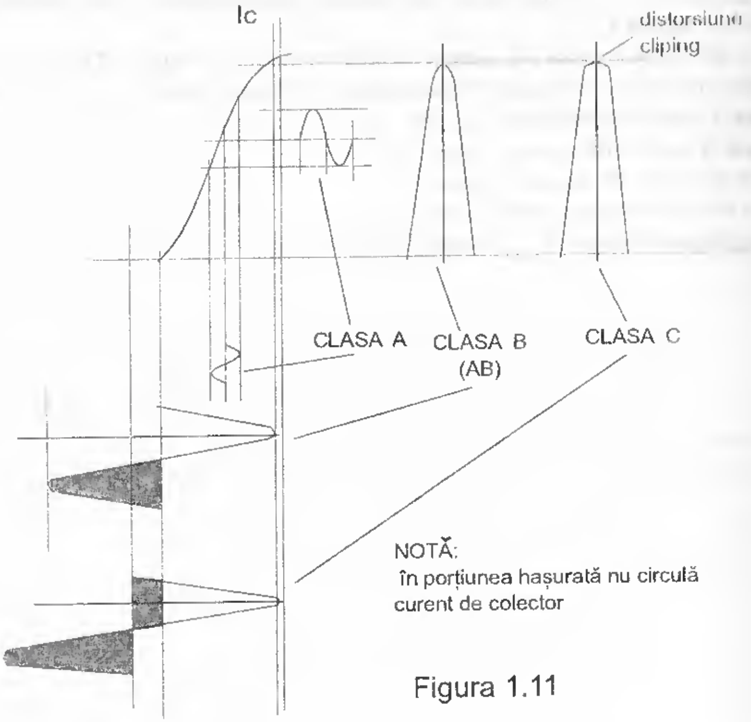


Figura 1.11

Amplificatoare în clasă D

Această clasă de funcționare corespunde lucrului unui amplificator în regim de comutație. Aceste tipuri mai poartă denumirea de **amplificatoare autobasculante**. Datorită faptului că puterea disipată în cele două stări extreme de funcționare a tranzistoarelor și tiristoarelor (blocare sau saturație) este minimă, se pot obține randamente foarte mari în privința puterii utile transmise.

Randamentul unui amplificator în clasa D este:

$$\eta_D = P_u / P_u + P_d = 0{,}94 \div 0{,}98\%$$

Se observă că randamentul η_D este net superior claselor de funcționare prezentate anterior. Totuși, acest tip de amplificator nu se folosește în aparatura HI-FI din cauza procentului mare de distorsiuni THD caracteristic acestei clase de funcționare.

În urma unei analize a performanțelor fiecărei clase de funcționare proprii unui amplificator de putere, se observă că singura dintre ele care întrunește caracteristicile optime categoriei HI-FI în privința puterii consumate, a puterii transmise și a procentului minim de distorsiuni ale semnalului de intrare amplificat este clasa AB.

1.3. PUTEREA LIVRATĂ DE AMPLIFICATORUL DE AUDIOFRECVENȚĂ

Puterea de ieșire a unui generator de energie se definește ca fiind capacitatea unui sistem de a dezvolta o anumită energie într-o perioadă de timp, în momentul alimentării de către acesta a unui consumator. Unitatea de măsură a puterii o reprezintă watt-ul, iar pentru un circuit electric puterea este direct proporțională cu tensiunea aflată la bornele impedanței de sarcină și cu curentul care trece prin aceasta. Puterea de ieșire a unui amplificator de audiofrecvență este cea pe care o poate debita având ca impedanță de sarcină difuzorul (grupul de difuzoare din incinta acustică).

$P = U_{ief}^2 / Z$,

unde U_{ief} = valoarea eficace a tensiunii de ieșire a amplificatorului;

Z = valoarea impedanței de sarcină.

În general, fiecare amplificator de audiofrecvență de putere are menționată, printre caracteristicile sale date de firma producătoare, valoarea puterii de ieșire.

Faptul care de cele mai multe ori nu este precizat constă în totalitatea condițiilor în care este măsurată această putere. În multe cazuri puterea de ieșire este precizată doar la o singură frecvență a semnalului de intrare – de cele mai multe ori 1000 Hz. Amplificatoarele ieftine, „de larg consum", au înscrisă în **Cartea tehnică** valoarea puterii de ieșire la frecvențele medii, presupunându-se cunoscut faptul că puterea scade spre extremitățile benzii de audiofrecvență. Deoarece performanțele amplificatorului depind, în această privință, de tipul schemei electrice folosite și totodată de componentele electrice utilizate la realizarea lui practică, este de așteptat ca o livrare liniară a puterii în întreaga bandă de audiofrecvență să fie garantată doar pentru un produs complex, având un preț de cost ridicat. De multe ori, valoarea procentului maxim de distorsiuni THD (THD = Total Harmonic Distorsion) este precizată numai pentru o anumită frecvență din spectrul audio și pentru o putere care poate să nu fie cea maximă. Posesorul unui amplificator de audiofrecvență trebuie să cunoască valoarea reală a THD-ului la puterea nominală, în întreaga bandă audio, pentru a-și putea forma o imagine clară asupra performanțelor proprii complexului electroacustic din dotarea proprie. De obicei, puterea unui amplificator de audiofrecvență se precizează pentru un semnal de intrare cu forma de undă sinusoidală.

Cel mai frecvent sunt precizate în cataloagele firmelor producătoare următoarele puteri (una dintre ele):

- puterea sinusoidală;
- puterea nominală;
- puterea continuă;
- puterea de vârf;
- puterea muzicală IHFM;
- puterea muzicală de vârf PMPO.

În majoritatea țărilor europene se utilizează ca dată de catalog puterea nominală P_n. Ea reprezintă valoarea puterii maxime eficace pentru o formă de undă sinusoidală nedistorsionată a semnalului electric amplificat. Puterea nominală se mai numește frecvent puterea maximă sinusoidală. Puterea continuă reprezintă același lucru ca și puterea maximă sinusoidală, fiind prezentată sub această denumire în unele cataloage ale firmelor producătoare de amplificatoare de audiofrecvență din S.U.A și Japonia.

Puterea de vârf (PEAK POWER) reprezintă o valoare dublă a puterii sinusoidale.

Puterea muzicală IHFM (Institute of High Fidelity Manufactures) se referă la puterea cu distorsiuni sub 1%, măsurată pentru un semnal de intrare care aproximează o formă de undă a semnalului electric alternativ muzical, din regimul normal de exploatare.

Puterea muzicală IHFM este mai mare de 1,4 – 1,5 ori decât puterea nominală. Puterea muzicală de vârf PMPO reprezintă dublul puterii muzicale. Ea este un parametru „de reclamă" a unor firme producătoare de aparataj electroacustic din categoria „de larg consum". Măsurările (și prezentarea datelor) pentru aflarea puterii unui amplificator de audiofrecvență se fac utilizând forma de undă sinusoidală a semnalului de intrare. O dată cu apariția unor noi firme producătoare de echipament electroacustic s-au prezentat în prospectele acestora și alte valori decât cele pentru puterea nominală, rezultatul (și evident scopul) utilizării fiind o reclamă pentru produsul respectiv. Acest lucru poate deruta pe amatorul de complexe electroacustice cu performanțe superioare, care nu este informat asupra modului de notare a puterilor. Singura comparație reală între două amplificatoare de audiofrecvență care au aceeși putere se poate face doar utilizând ca semnal de intrare semnalul cu forma de undă sinusoidală și comparând, pentru aceeși impedanță de sarcină, valorile puterilor maxime sinusoidale.

Un factor deosebit de important, caracteristic unui amplificator de audiofrecvență, îl reprezintă „răspunsul în frecvență" al acestuia, sau mai precis modul de comportare al puterii de ieșire a amplificatorului în întreaga bandă de audiofrecvență. Pentru un amplificator HI-FI, abaterea de la un răspuns liniar este foarte mică. Standardul european DIN 45.500 recomandă o valoare de maxim +1,5 dB în ceea ce privește abaterea de la puterea nominală, în gama de frecvență 40 Hz ÷ 16.000 Hz. Peste 20 kHz se admite ca puterea să scadă treptat, iar sub 20 Hz ea este intenționat atenuată, din cauza considerentelor de ordin fiziologic (vibrațiile de joasă frecvență sunt dăunătoare pentru organismul uman). De obicei THD-ul se măsoară la frecvențele de 40 Hz, 1000 Hz și 8000 Hz, iar distorsiunile de intermodulație TID (Total Intermodulation Distorsion) numai la 40 Hz și 8000 Hz cu fundamentala de 1000 Hz, amplitudinea celor două semnale fiind în raport de 4 la 1. La un consum de putere maxim se ține cont obligatoriu și de valoarea brumului și a zgomotului de fond. Se recomandă o atenuare de minim 90 dB pentru brum și de minim 70 dB pentru zgomotul de fond, în banda de audiofrecvență 20 Hz – 20.000 Hz.

1.4. DISTORSIUNILE NELINIARE ÎN AMPLIFICATOARELE DE AUDIOFRECVENȚĂ

Problema distorsiunilor neliniare în amplificatoarele de audiofrecvență reprezintă un subiect aflat în permanență în atenția constructorilor de aparataj electroacustic.

Un indiciu net pentru a diferenția două amplificatoare de audiofrecvență de aceeași putere, construite de firme diferite, este felul cum se comportă acestea în privința distorsiunilor neliniare. Firmele specializate în construcția aparatajului electroacustic și constructorii amatori caută în permanență soluții noi pentru obținerea unor rezultate cât mai bune. De la amplificatoarele cu tuburi electronice și până la amplificatoarele operaționale, problemele esențiale rămân valabile.

Deși s-au făcut progrese atât în privința componentelor, cât și a concepției schemelor amplificatoarelor de audiofrecvență, distorsiunile neliniare au ridicat permanent probleme deosebite. În perioada utilizării exclusive a tuburilor electronice, prețul realizării unei amplificări mari era deosebit de ridicat. Apărea necesitatea

utilizării mai multor dispozitive active. Acest lucru ducea inevitabil, chiar în urma unei proiectări îngrijite, la apariția unui procentaj de armonici și a unor distorsiuni de intermodulație, care nu se puteau reduce decât într-o oarecare măsură. Atunci când s-a descoperit avantajul utilizării reacției negative, aceasta nu s-a aplicat decât local, la nivelul de etaj funcțional. Prezența absolut necesară la amplificatoarele cu tuburi electronice a transformatorului de ieșire, deci a reactanței sale, duce la apariția unei funcții de transfer intrare-ieșire deosebit de complexă. Corectările care se impun pentru a obține în final un spectru neatenuat al frecvențelor înalte fac imposibilă aplicarea unei reacții negative globale. În caz contrar se riscă pierderea stabilității montajului și apariția condițiilor de autooscilație. Reacția medie globală nu depășește valoarea de 30 dB. În aceste condiții, distorsiunile liniare și neliniare reprezentau cu pregnanță impedimente serioase în calea unei audiții HI-FI, obținându-se în final doar o audiție satisfăcătoare. Introducerea pe scară largă a montajelor cu tranzistoare și eliminarea transformatorului de ieșire din cadrul schemelor electrice ale amplificatoarelor de audiofrecvență au reprezentat lucruri esențiale în etapa de trecere spre montajele electronice care să minimalizeze distorsiunile. S-a introdus și proiectarea cu reacția negativă globală. S-a ajuns la formarea concepției potrivit căreia cu cât un amplificator are o reacție negativă mai mare cu atât este mai bun, lucru diferit de realitate, după cum se va vedea. Reacția negativă oferă următoarele avantaje:

- distorsiunile statice descresc practic la zero;
- crește banda de trecere a amplificatorului;
- crește impedanța de intrare, descrește impedanța de ieșire și, uneori, crește factorul de amortizare.

Scăderea continuă a costului componentelor electronice și, în special, tendința de integrare monolitică, fac posibilă utilizarea amplificării cu resurse aproape nelimitate. Apare tendința, deosebit de importantă în proiectare, de a folosi o amplificare foarte mare în „buclă deschisă", urmată de utilizarea unei reacții negative puternice, pentru obținerea amplificării finale dorite. Acest lucru implică folosirea din plin a amplificatoarelor operaționale. Ele sunt proiectate frecvent cu destinația de a lucra în echipamentul unui lanț electroacustic. Amplificatoarele operaționale oferă avantajul obținerii unor montaje cu gabarit mic. Performanțele lor electrice sunt net superioare montajelor cu componente discrete în echipamentul audio. Utilizarea amplificatoarelor operaționale a ridicat însă noi probleme. Nevoia de a integra puterea disipată a făcut ca amplificatoarele operaționale să fie astfel proiectate încât să lucreze în clasa B. Nerespectarea la utilizare a unor parametri inițiali de proiectare (curent de mers în gol, polarizări, compensări etc.) duce la apariția unor distorsiuni de mare amploare. Ele înrăutățesc considerabil audiția și nu pot fi eliminate de reacția negativă sau alte trucuri de circuit ! Cele două efecte esențiale, și anume superdozarea reacției negative și funcționarea în clasă B, impun, și actualmente, cele mai importante probleme în ceea ce privește proiectarea unui amplificator de audiofrecvență cu distorsiuni minime.

Distorsiunile pe care le introduce un amplificator de audiofrecvență se clasifică în două mari grupe, și anume:

- distorsiuni liniare, care reprezintă abateri de la frecvență sau caracteristica de fază, exprimate printr-o funcție de transfer liniară;
- distorsiuni neliniare, cauzate de relația neliniară de amplitudine între intrarea și ieșirea semnalului util, deci o funcție de transfer neliniară.

Distorsiunile neliniare se clasifică în două grupe distincte:

- distorsiuni neliniare statice, dependente numai de amplitudinea semnalului;

– distorsiuni neliniare dinamice, dependente de amplitudinea și caracteristica de frecvență, de fază sau de modul de comportare în timp a semnalului.

DISTORSIUNILE NELINIARE STATICE

Fiecare etaj al unui amplificator deține în tot domeniul posibil de lucru o funcție de transfer neliniară. Neliniaritățile se pot clasifica în trei grupe principale:

– neliniaritate de tip S;
– neliniaritate datorată neracordării semialternanțelor semnalului, numită crossover;
– neliniaritate datorată limitărilor semnalului, denumită clipping.

Aceste neliniarități tipice sunt prezentate în **figura 1.12.**

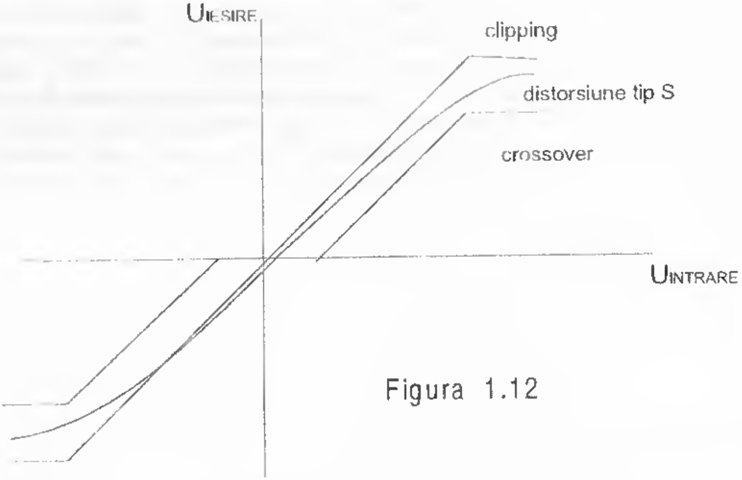


Figura 1.12

Neliniaritatea de tip S poate apărea din mai multe motive. În cazul tranzistoarelor, ea este rezultatul dependenței neliniare a amplificării de curent față de curentul de colector, neliniarității tensiunii bază-emitor caracteristice, neliniarității de tip avalanșă a curentului de colector din cauza tensiunii colector-emitor etc. În cazul tuburilor electronice lista se mai completează cu efectul încărcării electrostatice a grilei de comandă, cel al schimbării de conductanță a anodului în funcție de tensiune, cât și cu posibila apariție a impedanței negative la grila ecran din tetrode și pentode etc. Acest tip de neliniaritate se elimină utilizând o proiectare îngrijită a etajului respectiv. Se folosesc polarizări și reacții negative locale, astfel încât în zona de lucru a etajului funcția de transfer să devină liniară. În cazul utilizării transformatoarelor de cuplaj sau de ieșire, neliniaritățile lor datorate saturației circuitului magnetic au o deosebită importanță. Influența surselor de neliniaritate S se poate elimina complet utilizând reacția negativă locală, sarcina optimă și adaptarea între etaje. Cu prețul unui etaj de amplificare în plus care să compenseze pierderile de amplificare datorate reacției negative locale, problema este pe deplin rezolvabilă.

Neliniaritatea de tip crossover poate să apară la funcționarea unui etaj de audiofrecvență în clasă B. Datorită randamentului net superior clasei A în ceea ce privește puterea transmisă, majoritatea etajelor finale lucrează în clasă AB. Dacă nu se respectă o serie de factori esențiali în proiectare, apare în mod sigur distorsiunea

de tip crossover. Aceasta se manifestă sub două forme: crossover de neracordare și crossover de asimetrie. Crossoverul de neracordare reprezintă un gol în ceea ce privește racordarea celor două semialternanțe ale semnalului de audiofrecvență. Crossoverul de acest tip este prezentat în **figura 1.13.a**. Crossoverul de asimetrie apare atunci când există o asimetrie de timp a amplificării semnalului în ceea ce privește semialternanțele. Acest tip de distorsiuni este prezentat în **figura 1.13.b**.

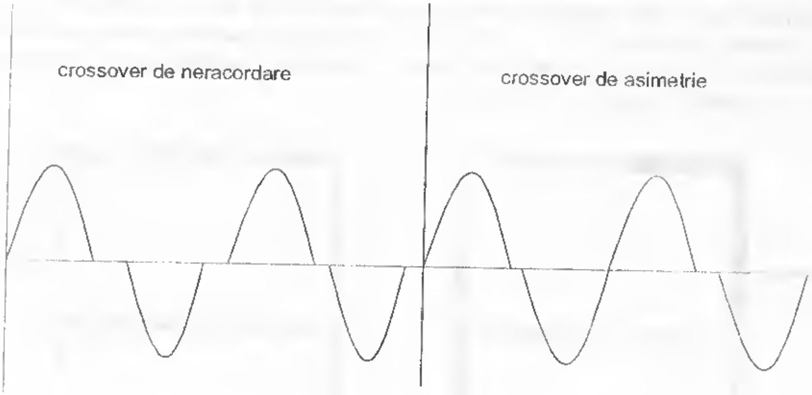


Figura 1.13

Distorsiunea crossover are următoarele cauze principale:

– descreșterea amplificării etajului în momentul apropierii de zero a celor două semialternanțe ale semnalului;

– frecvența de tranziție diferită a tranzistoarelor sau a grupului de tranzistoare finale aflate în componența etajului (de exemplu, secțiunea npn comută mai rapid decât secțiunea pnp), care lucrează separat pentru fiecare semialternanță a semnalului.

În regiunea de trecere „prin zero" a semialternanțelor, amplificarea în buclă deschisă a etajului scade simțitor. Datorită acestui lucru, reacția negativă are efecte limitate. Distorsiunile cross-over sunt deosebit de distinct sesizabile, neplăcute la audiția programului sonor, deoarece generează armonici și intermodulații în banda de audiofrecvență. În cazul producerii armonicilor, componentele de frecvență înaltă se aud distinct, fiind total nemuzicale, ușor detectabile. Concomitent se produce și deformarea semnalului util. În grupul de **figuri 1.14.** se prezintă influența armonicilor asupra formei de undă a unui semnal sinusoidal. **Figurile 1.14.1.** și **1.14.4.** reprezintă semnalul sinusoidal nedistorsionat (fundamentala). În **figura 1.14.2.** se prezintă influența armonicii de ordin 2 aplicată fundamentalei, la 0° și 180°, care are ca rezultat modificarea formei de undă a fundamentalei. În **figura 1.14.3.** apare influența armonicii de ordin 2 aplicată fundamentalei cu defazaj de 90° sau 270°. În **figurile 1.14.5.** și **1.14.6.** se prezintă influența armonicii de ordin 3, aplicată fundamentalei cu un defazaj de 0° și respectiv 180°. Pentru o vizualizare corectă a interacțiunii cu fundamentala în toate cazurile sus-menționate s-a considerat o pondere de 50% a armonicii analizate. În **figura 1.14.7.** apare diagrama erorilor de măsură a puterii transmise în cazul apariției armonicilor 2 și 3. Constructorul amplificatorului audio va utiliza diagramele prezentate în scopul identificării genului de distorsiune care a apărut în montajul testat și va proceda în consecință pentru eliminarea ei. Să nu

uităm că, practic, pot apărea și armonicile 4, 5, 6 etc., care vor modifica forma sinusoidală a fundamentalei, făcând-o de nerecunoscut. Remediul distorsiunii crossover îl constituie alegerea unui curent de mers în gol al etajului, suficient de mare ca să asigure amplificarea mare tot timpul. Totuși, curentul de mers în gol nu poate fi prea mare, deoarece apare un consum inutil de energie și mărirea riscului ambalării termice. Rezultă alegerea unui curent de mers în gol care să constituie un compromis al celor două cerințe contradictorii. Concomitent e necesară alegerea unui grup sau a unor dubleți de tranzistoare în etajul final, care să prezinte frecvențe de tranziție apropiate și mult superioare frecvenței maxime din banda audio. Rezultate foarte bune se obțin utilizând o mică reacție negativă locală (rezistențele din emitoarele tranzistoarelor finale).

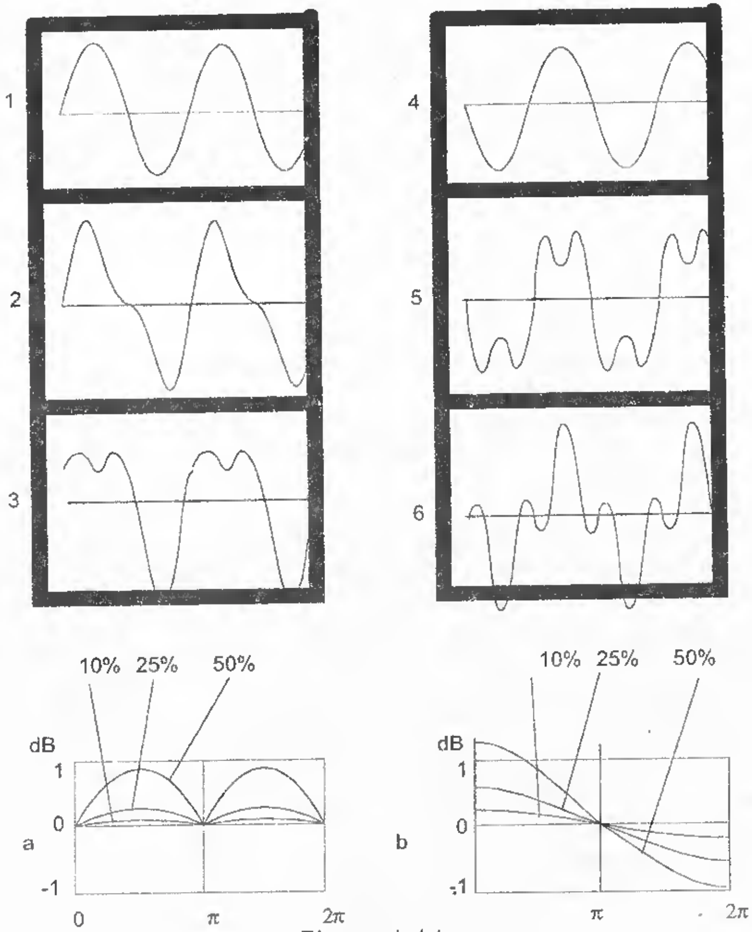


Figura 1.14

Neliniaritatea de tip clipping apare atunci când amplificatorul e supraîncărcat. Datorită acestui lucru se poate afirma că acest tip de neliniaritate apare numai accidental. Deoarece pentru durate limitate de timp depășirile de sarcină există în

mod obișnuit, performanțele amplificatorului la suprasarcină devin importante. Sesizarea practică a distorsiunilor clipping depinde de mecanismul limitării, de panta acesteia (dacă este bruscă sau lină) etc. Se pot produce efecte secundare, deoarece limitarea agravează generarea armonicilor și distorsiunile de intermodulație. Este de dorit ca panta limitării să fie mică, dar, din cauza reacției negative globale, procesul are loc în avalanșă și limitarea devine „dură". Reacția negativă mai poate produce un exces de curent în etajul pilot al amplificatorului, fapt care agravează problemele de saturație și revenirea rapidă la funcționarea normală. Limitarea cu panta lină și reacția negativă globală rămân două probleme contradictorii. Iată de ce un bun amplificator se dimensionează pentru o putere mai mare decât cea utilă, în scopul de a preveni pe cât posibil depășirile de sarcină nominală. Un amplificator de audiofrecvență se dimensionează inițial la o putere dublă față de cea utilă, nu pentru a „scutura" cu el perdelele din casă și a deranja vecinii, ci doar pentru obținerea unei audiții normale, nedistorsionate !

DISTORSIUNILE NELINIARE DINAMICE

Distorsiunile neliniare dinamice apar atunci când conținutul de frecvență sau proprietățile în timp ale semnalului de intrare afectează funcția de transfer globală a amplificatorului. O neliniaritate de acest tip se numește neliniaritate dinamică. Ea are ca origine reacția negativă globală. Pentru exemplificare să considerăm un lanț de amplificatoare cu o reacție negativă foarte puternică, cum arată **figura 1.15.** La intrarea lui s-a aplicat un semnal tranzitoriu (un front de undă foarte abrupt și de durată foarte mică), urmat imediat de un semnal sinusoidal. Deoarece reacția negativă este foarte puternică, amplificarea în buclă închisă rămâne la valoarea A (nu scade), dar amplificarea în buclă deschisă va scădea de la valoarea A_0 la A'_0, și frecvența de tăiere ω_0 scade cu una sau două decade, la valoarea ω'_0, în timpul semnalului tranzitoriu.

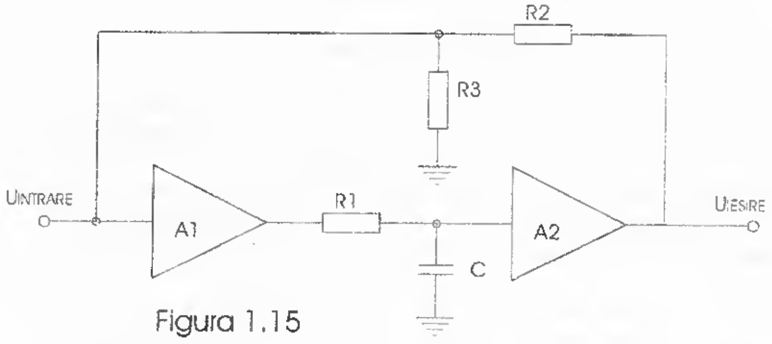


Figura 1.15

Acest lucru crează modulația de fază a semnalului sinusoidal, dacă frecvența lui f_0 este mai mică decât f'_0 (**figura 1.16.**) și modulația combinată de amplitudine și frecvență, dacă ω_0 se află între ω'_0 și ω''_0 (**figura 1.16**). În ambele cazuri, modulația de amplitudine și fază implică creșterea componentelor de interferență între semnalul tranzitoriu și cel sinusoidal. Acest lucru duce la apariția unor distorsiuni de intermodulație apreciabile. Într-un caz extrem, amplificarea A poate scădea la zero, acest lucru implicând o distorsiune de intermodulație de 100% a semnalului sinusoidal. De aici rezultă importanța deosebită a unei proiectări îngrijite a

amplificatorului, în așa fel încât reacția negativă globală să nu implice posibilitatea apariției acestui tip de distorsiune. De asemenea, apare încă o dată condiția utilizării în montaj a unor tranzistoare cu frecvența de tăiere mult superioară frecvenței maxime a semnalului audio util. Un bun mijloc de evitare a distorsiunilor îl constituie și filtrajul semnalului audio inițial, astfel ca la etajele amplificatoare finale să nu ajungă semnale cu frecvența mai mare decât cele din banda de audiofrecvență.

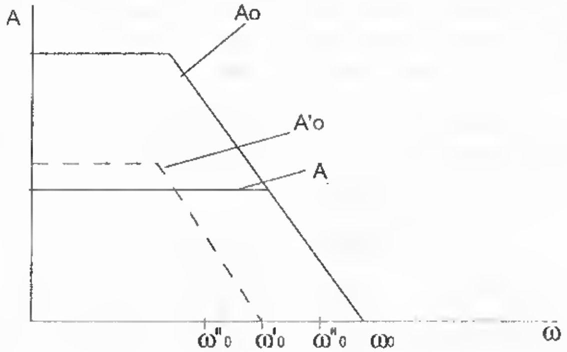


Figura 1.16

Utilizarea reacției negative se va face cu deosebită atenție, îmbinând avantajele și dezavantajele reacției negative locale cu cele ale reacției negative globale. Iată de ce în emitoarele tranzistoarelor de putere din etajul final se amplasează câte o rezistență de valoare mică ce prezintă toate avantajele reacției negative locale, deși reduce din putere:

– liniarizează funcționarea etajului;

– mărește stabilitatea dinamică în funcționare;

– micșorează efectul de toleranță individuală a pieselor componente fiecărui etaj;

– mărește frecvența de tăiere a tranzistoarelor, lucru deosebit de important pentru etajele finale în clasa B.

Reacția negativă locală nu se poate aplica totdeauna. În cazul etajului pilot, ea limitează excursia în tensiune a acestuia. Datorită faptului că etajul pilot lucrează cu curenți mici, se preferă aproape totdeauna utilizarea sa în clasa A de funcționare, disipația de putere fiind neglijabilă. Aici se utilizează o amplificare mare, urmată de o reacție negativă globală dintre două sau trei etaje cuplate galvanic. Acest fapt elimină distorsiunile neliniare statice și asigură o funcționare corectă. Se observă că utilizarea optimă a celor două tipuri de reacție, o dată cu luarea măsurilor de proiectare adecvate, duce la obținerea unui amplificator care să aibă distorsiuni neliniare mai mici de 0,2%. Se recomandă ca reacția negativă globală să se mențină între 20 și 40 dB. În acest fel se obțin distorsiuni armonice mai mici decât 0,05% și, în același timp, se evită riscul apariției distorsiunilor neliniare dinamice. Să nu uităm faptul că amplificatorul de audiofrecvență este doar o componentă din lanțul electroacustic. În **tabelul 2** este prezentată ponderea maximă a fiecărei componente din lanțul electroacustic în ceea ce privește coeficientul de distorsiuni, referindu-ne la un aparataj HI-FI de factură curentă. Coeficientul de distorsiuni K se definește astfel:

$$K = \sqrt{\frac{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + ... + V_n^2 + N^2}{V_1^2}} \cdot 100\ \%$$

unde: V_1 = amplitudinea fundamentalei; V2 ÷ n = amplitudinea armonicii de ordin 2, 3 ... n; N = amplitudinea componentei de zgomot și brum.

Atunci când coeficientul de distorsiuni este mic, valoarea lui se poate aproxima cu relația:

$$K = \sqrt{\frac{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + ... + V_n^2 + N^2}{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + ... + V_n^2 + N^2}}$$

măsurată, spre exemplu, cu un distorsiometru de tip EO706.

Coeficientul de distorsiuni al lanțului electroacustic reprezintă o medie pătratică a coeficienților fiecărei componente:

$$K = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} K_i^2}$$

De aici rezultă că, pentru obținerea unei audiții HI-FI, amplificatorul trebuie să prezinte un factor de distorsiuni minim, deoarece doar aici se pot lua măsuri pentru micșorarea coeficientului de distorsiuni global. Ceilalți coeficienți sunt de natură industrială (datorați fabricantului de magnetofon, casetofon, picup și ca atare nu se pot modifica). În **tabelul 2** sunt prezentate distorsiunile admisibile pentru câteva componente ale unei combine muzicale HI-FI. Standardul DIN 45.500 normează un amplificator HI-FI având un coeficient de distorsiuni mai mic de 0,7% în intervalul 40 Hz–4000 Hz, și de maximum 1% în întreaga bandă audio, la puterea nominală a amplificatorului. În prospectele firmelor de specialitate, coeficientul total de distorsiuni al unui amplificator este notat cu inițialele THD (Total Harmonic Distorsion). Având în vedere că urechea umană sesizează distorsiunile începând de la 2%, se observă importanța obținerii unui lanț electroacustic cu un THD cât mai mic. Să nu uităm că, la puteri mai mici decât cea nominală, THD-ul scade parabolic. De aceea, pentru păstrarea unei dinamici naturale a programului sonor audiat, amplificatorul nu se va folosi niciodată la puterea nominală și va fi astfel dimensionat încât să prezinte o rezervă de putere corespunzătoare.

Constructorul unui amplificator audio va ține seama de toate elementele prezentate, în mod obligatoriu, pentru a obține un lanț electroacustic HI-FI cu performanțe cât mai apropiate de cele ale firmelor de specialitate.

Tabelul 2

Subansamblul combinei	**K**
Magnetofon	2%
Casetofon	3%
Picup	4%
Egalizator grafic	0,5%
Amplificator	0,1%
Incintă acustică	5%

Coeficientul de distorsiuni maxim admis la componentele unei combine muzicale HI–FI.

1.5. VERIFICAREA AMPLIFICATORULUI DE AUDIOFRECVENȚĂ DE PUTERE

Parametrii esențiali care caracterizează un amplificator de audiofrecvență sunt puterea, impedanța de ieșire și procentul de distorsiuni armonice totale (THD). Cunoscând acești parametri se pot compara relativ ușor două amplificatoare audio realizate de firme diferite. Totuși, practica a arătat că, pentru caracterizarea deplină a unui amplificator de audiofrecvență de putere, sunt necesare o serie de detalii suplimentare, care să ofere o imagine completă asupra comportării lor în regim de funcționare. Ascultând același program muzical sonor redat de aceleași incinte acustice, dar folosind pe rând două amplificatoare audio diferite, se observă frecvent că unul dintre ele lucrează mai bine și mai eficient decât celălalt, deși ambele au aceeași putere de ieșire și, de cele mai multe ori, același coeficient THD. Faptul se datorează modului de lucru diferit în ceea ce privește regimul dinamic de funcționare, în special în momentul în care amplificatorul livrează puterea sa nominală. Pentru a avea o imagine completă asupra problemei este necesar să se țină cont de condițiile reale de funcționare ale unui amplificator de audiofrecvență în ceea ce privește și forma de undă a semnalului audio. Comportarea unui amplificator de audiofrecvență în regimul de lucru cu semnal de intrare sinusoidal, pentru care este definită puterea sa nominală de ieșire, nu reflectă comportarea sa reală la semnalul electric propriu unui program muzical sonor. Acesta este format dintr-un conglomerat de forme de undă nesinusoidal, care de cele mai multe ori se succed cu salturi de amplitudine total diferite de forma de undă sinusoidală. Analizând cu ajutorul unui osciloscop forma de undă a unui semnal electric propriu unui program muzical sonor, se observă că ea prezintă, de cele mai multe ori, o alură foarte apropiată de forma de undă a unui semnal aleatoriu (de exemplu cea a zgomotului roz, **figura 1.17.**) Acest lucru are o importanță deosebită în momentul în care amplificatorul depășește în timpul funcționării, pentru perioade scurte de timp, puterea sa nominală. Dacă în regim sinusoidal de funcționare raportul puterilor $P_{VÂRF} / P_{NOM} = 2$ (A = 3 dB), în condițiile reale de funcționare $P_{VÂRF} / P_{NOM} = 25 \div 50$ dB (A = 14 ÷ 17 dB). De aici se vede că, în regimul tranzitoriu de funcționare, amplificatorul depășește cu mult posibilitățile sale de lucru teoretice.

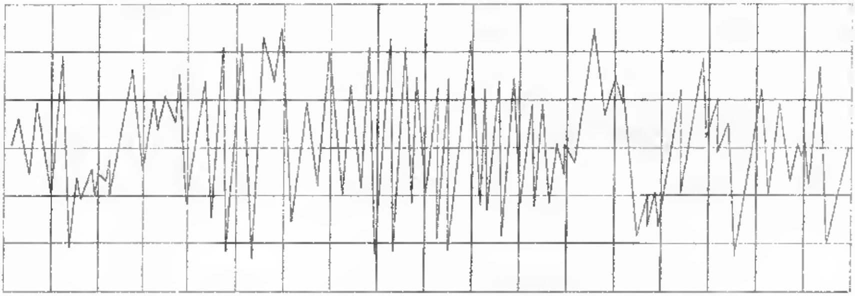


Figura 1.17

Această suprasolicitare se răsfrânge totdeauna în mod direct asupra etajului de alimentare, influențând în mod negativ furnizarea energiei electrice celorlalte blocuri funcționale proprii amplificatorului (scade tensiunea de alimentare). În funcție de configurația schemei electrice după care este realizat, amplificatorul este mai mult sau mai puțin sensibil la aceste variații ale puterii electrice primite, care, din

cauza considerentelor economice, are din construcție o valoare limitată. Ca urmare a celor expuse anterior, apare evident faptul că, pentru verificarea performanțelor unui amplificator de audiofrecvență de putere, încadrabil în categoria HI-FI, este necesară simularea unui regim de lucru apropiat de condițiile reale de funcționare. Pentru testări se alege o astfel de formă de undă a semnalului de intrare, încât să fie permisă, pentru o perioadă scurtă de timp, supraîncărcarea amplificatorului. Forma de undă a semnalului de intrare pentru testarea dinamică este prezentată în **figura 1.18**. Se observă că este vorba de un semnal electric cu forma de undă sinusoidală, modulat în amplitudine după un algoritm astfel ales încât, pentru o perioadă scurtă de timp, amplificatorul e supraîncărcat, iar ulterior amplificarea semnalului de intrare se micșorează, în scopul prevenirii ambalării termice a etajului final. În același timp este posibilă și disiparea excesului de căldură acumulat în momentul debitării unei puteri mai mari decât puterea nominală. Cu un astfel de generator al semnalului de intrare (tone-burst generator) cu durata trenurilor de undă reglabilă, se pot testa și, ulterior, caracteriza în mod net două amplificatoare de audiofrecvență, care prezintă în regim sinusoidal aceeași putere nominală. Folosirea trenurilor de undă permite scurte supraîncărcări ale amplificatorului supus măsurărilor, fără riscul deteriorării etajului final sau blocului de alimentare. Acest tip de verificări sunt singurele care pot departaja în mod net diferite tipuri de amplificatoare de audiofrecvență, identice ca performanțe din punctul de vedere al funcționării în regim sinusoidal de lucru.

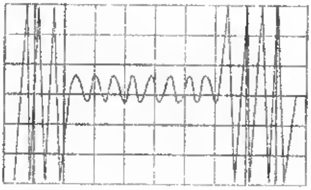


Figura 1.18

Parametrul principal urmărit în urma testărilor este capacitatea de recuperare a amplificatorului. Ea reprezintă posibilitatea unui amplificator de a reveni și a reda corect semnalele de nivel mic precedate de semnale de nivel mare. La amplificatoarele de audiofrecvență cu capacitate de recuperare scăzută, semnalele puternice exercită o acțiune de mascare (gâtuire) a semnalelor slabe. Acest fenomen se poate vizualiza cu ajutorul osciloscopului și analiza pe o perioadă mai mare de timp cu ajutorul unui osciloscop de memorie. Fenomenul de mascare a semnalelor electrice slabe se manifestă practic printr-o redare neclară, înfundată, nediferențiată, a unui program muzical sonor. Pentru exemplificare, în **figura 1.19.** se prezintă diagramele funcționale pentru patru amplificatoare de audiofrecvență cu aceeași putere, dar care au capacitatea de recuperare diferită. Verificarea a fost făcută cu un semnal de test furnizat de un generator de semnale sinusoidale modulate în amplitudine (tone burst generator). Acest regim de lucru al amplificatorului de audiofrecvență se numește regim sinusoidal dinamic. Verificarea se face la frecvența de 1000 Hz, la nivele ce depășesc cu 0,5 dB, 2 dB și 5 dB nivelul normal la care începe limitarea semnalului sinusoidal. La toate determinările s-a lăsat un interval de 5 s între două trenuri de undă succesive, cu scopul de a da timp etajelor de ieșire și alimentare să disipe căldura excesivă.

Oscilogramele O_1, O'_1 și O''_1 se referă la amplificatorul A_1, O_2, O_2' și O_2'', la amplificatorul A_2, O_3, O_3' și O_3'', la amplificatorul A_3, O_4, O_4' și O_4'', la amplificatorul A_4. Oscilogramele $O_1 - O_4$ corespund unei creșteri de nivel de 0,5 dB față de nivelul normal de funcționare la care începe limitarea sinusoidei, oscilogramele $O_1' - O_4'$ unei creșteri de 2dB, iar oscilogramele $O_1'' - O_4''$ unei creșteri de 5 dB față de nivelul de referință. Se observă că amplificatorul A_1 are capacitatea de recuperare foarte rapidă, distorsiunile care apar la semnalul de nivel mic fiind minime. Amplificatorul A_4 are capacitatea de recuperare foarte scăzută, deoarece prezintă la suprasarcină o „strangulare" a caracteristicii de funcționare (de cca. 100 ÷ 200 ms), ce tinde să taie complet semnalul de nivel mic. Se observă imediat că regimul sinusoidal dinamic scoate clar în evidență diferența dintre cele patru amplificatoare, care în regim sinusoidal normal prezintă performanțe identice. În timp ce amplificatorul A_1 redă în mod clar, curat și cu o dinamică foarte bună un program muzical sonor, amplificatorul A_4 redă același program muzical sonor în mod neclar, înfundat, cu limitări ale semnalului audio de nivel mic ce precede semnalul de nivel mare, distorsiunile fiind cu ușurință perceptibile.

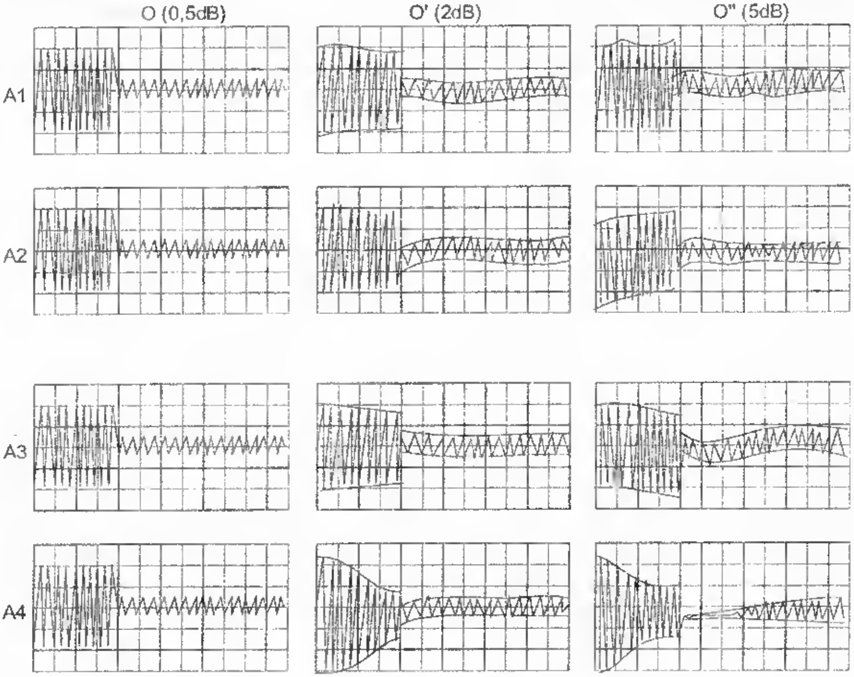


Figura 1.19

Importanța verificărilor în regimul de lucru sinusoidal dinamic este și mai evidentă dacă se variază frecvența semnalului modulat în amplitudine. În **figura 1.20.** se prezintă diagramele obținute în urma verificării amplificatoarelor A_1 și A_4, folosind pentru semnalul sinusoidal frecvențele de 10 kHz, 1 kHz și 100 Hz, cu o creștere de nivel de 2 dB peste nivelul de lucru la care apare limitarea sinusoidei. În timp ce amplificatorul A_1 se comportă perfect, amplificatorul A_4 prezintă o descreștere a

semnalului la sfârșitul trenului de undă cu frecvența de 1 kHz (diagrama O_4') și o puternică strangulare pe mai mult de 50% din durata trenului de undă cu frecvența de 100 Hz (diagrama O_4'). Acest fapt se traduce fiziologic, din punctul de vedere al ascultătorului programului muzical sonor, printr-o redare necorespunzătoare proprie amplificatorului A_4, total diferită de aceea a amplificatorului A_1, care este perfectă.

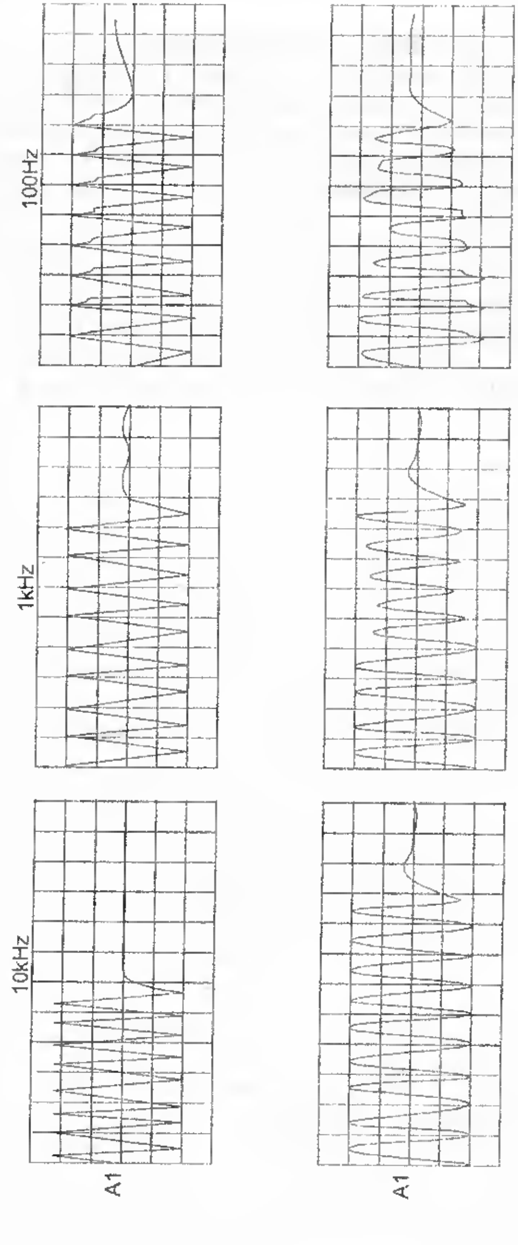


Figura 1.20

Din cele expuse anterior, rezultă importanța deosebită a verificării unui amplificator de audiofrecvență în regimul de funcționare sinusoidal dinamic. Această metodă reprezintă un sistem sigur de verificare, pe care constructorul trebuie să-l folosească obligatoriu înainte de încadrarea unui amplificator de audiofrecvență de putere în categoria HI-FI.

O altă măsurare absolut necesară pentru determinarea performanțelor unui amplificator de audiofrecvență este măsurarea timpului de creștere a impulsului (slew – rate).

Se consideră timp de creștere t intervalul de timp în care amplitudinea unui impuls de tensiune crește de la 10% la 90% (vezi **figura 1.21.**). Pentru ușurința măsurării se introduce sincronizat, la aceeași intrare a osciloscopului, un șir de semnale de marcaj (markeri) cu frecvența de 1 MHz, deci cu distanța între ele de o microsecundă. Un amplificator foarte bun are un timp de creștere a frontului impulsului mai mic de 3 s, un amplificator bun un timp t = 3 ÷ 6 s, iar un amplificator de slabă calitate t > 12 s.

Timpul de creștere se măsoară pentru un semnal de intrare cu frecvența de 10 kHz. Această măsurare ne dă o informație foarte exactă asupra modului în care sunt amplificate semnalele electrice rapide și cu amplitudine mare.

Verificarea în regim sinusoidal dinamic și măsurarea timpului de creștere a impulsului ne oferă o imagine completă asupra unui amplificator de audiofrecvență de putere, indiferent de configurația schemei electrice după care a fost realizat.

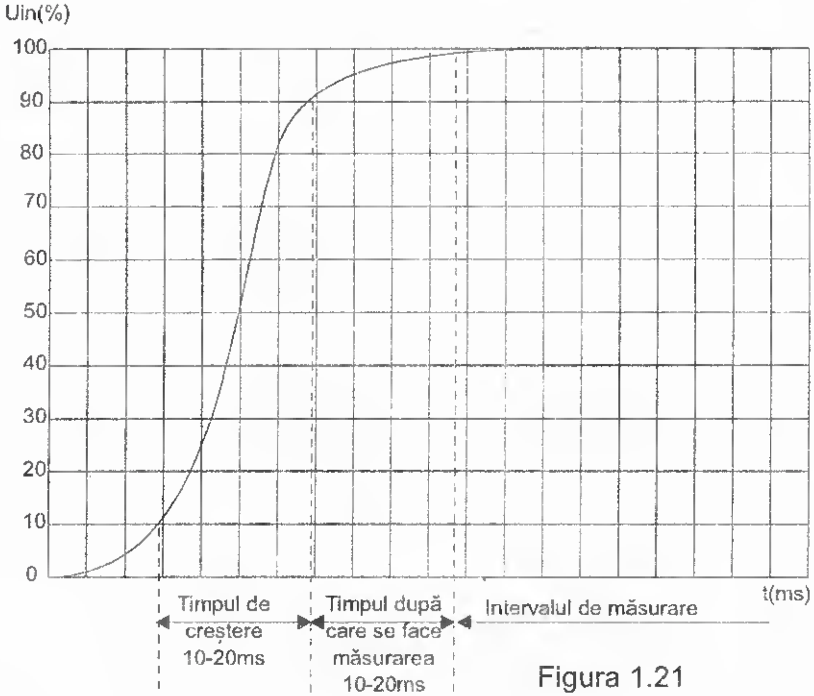


Figura 1.21

2. MONTAJE PRACTICE DE AMPLIFICATOARE DE AUDIOFRECVENȚĂ

În vederea realizării practice a unor amplificatoare audio de putere, este prezentată o gamă largă de scheme electrice care au fost realizate practic și au funcționat ireproșabil. Diversitatea constructivă pentru amplificatoarele de audiofrecvență de putere, atât în ceea ce privește schema electrică aleasă, cât și realizarea practică propriu-zisă, solicită în mod permanent atenția constructorului, dornic de o perfecționare continuă a aparatajului electroacustic aflat în dotarea proprie. Asimilarea recentă în fabricația de serie autohtonă a unor componente electrice cu performanțe din ce în ce mai bune face posibilă abordarea unor montaje care se încadrează cu ușurință în normele HI-FI. În funcție de puterea nominală dorită, impedanța de sarcină a incintelor acustice aflate în dotare și performanțele urmărite în ceea ce privește fidelitatea finală obținută, constructorul poate alege una dintre schemele electrice prezentate în această lucrare pentru realizarea practică a unui amplificator de putere. La fiecare montaj sunt specificate performanțele, modul de funcționare și o serie de indicații privind realizarea practică. Deoarece există o diversitate de modalități în ceea ce privește concepția și realizarea practică a amplificatoarelor audio de putere, au fost alese o serie de montaje reprezentative, pornind de la variantele cele mai simple și ajungând la cele de o complexitate ridicată.

Un prim criteriu de clasificare a amplificatoarelor audio de putere îl constituie componentele active (tuburi electronice, tranzistoare, sau circuite integrate) care intră în alcătuirea acestora. Ținând cont de acest lucru prezentarea montajelor include patru grupe distincte, și anume:

- A.A.F cu tuburi electronice;
- A.A.F. cu tranzistoare;
- A.A.F. hibride (cu tranzistoare și circuite integrate);
- A.A.F. cu circuite integrate specializate.

Un al doilea criteriu de clasificare include puterea nominală livrată de A.A.F. și gradul de complexitate al montajului. De aceste considerente s-a ținut cont la prezentarea ulterioară a unor scheme electrice de A.A.F.

2.1. AMPLIFICATOARE AUDIO CU TUBURI ELECTRONICE

Odată cu dezvoltarea și perfecționările tehnologice din industria constructoare de materiale semiconductoare, care au determinat apariția tranzistoarelor și a circuitelor integrate performante, tuburile electronice au dispărut aproape cu desăvârșire din amplificatoarele audio.

Un amplificator de audiofrecvență realizat cu tranzistoare sau circuite integrate deține următoarele avantaje:

– randament energetic total foarte bun;

– gabarit redus și foarte redus;

– ușurință și simplitate în realizarea practică.

Datorită acestui fapt, în perioada 1975–1990 aproape „nu s-a vorbit" în nici o lucrare tehnică despre amplificatoare cu tuburi electronice. Însă, începând cu anul 1990, iată că ele apar din nou pe piață, la niște prețuri de cost extrem de mari și având (totuși) performanțe foarte bune. Deși un amplificator cu tuburi electronice prezintă un randament energetic total cu mult sub nivelul celor realizate cu tranzistoare sau circuite integrate specializate, în urma unor laborioase studii și cercetări s-a ajuns la concluzia că el oferă totuși niște avantaje practice evidente, și anume:

– simplitate constructivă;

– obținerea unei puteri nominale cu un număr redus de componente;

– capacitate mare de supraîncărcare, fără a produce distorsiuni sesizabile.

În urma a numeroase încercări practice s-a constatat că un amplificator cu tuburi „sună" mai bine decât unul cu tranzistoare sau circuite integrate, deși ambele sunt comparabile, având aceeași putere și aceeși sarcină (incinta acustică). Această constatare rezultă teoretic din două considerente:

– tuburile electronice prezintă un factor de creștere al tensiunii SLEWRATE mai mare cu cel puțin un ordin de mărime față de tranzistoarele obișnuite (cu joncțiune);

– la supraîncărcare, un amplificator cu tuburi electronice produce distorsiuni mult mai mici decât unul cu tranzistoare.

Acest ultim considerent apare deosebit de clar analizând diagramele prezentate în **figura 2.1**. Se observă că, dacă în timpul apariției regimului de supraîncărcare, amplificatorul cu tranzistoare distorsionează puternic forma de audio a semnalui standard sinusoidal (CLIPPING, urmat aproape întotdeauna de THD și TID), amplificatorul cu tuburi electronice distorsionează mai puțin forma de undă inițială (distorsiune S, care nu e urmată de mărirea THD și TID, deoarece slewrate-ul e foarte ridicat).

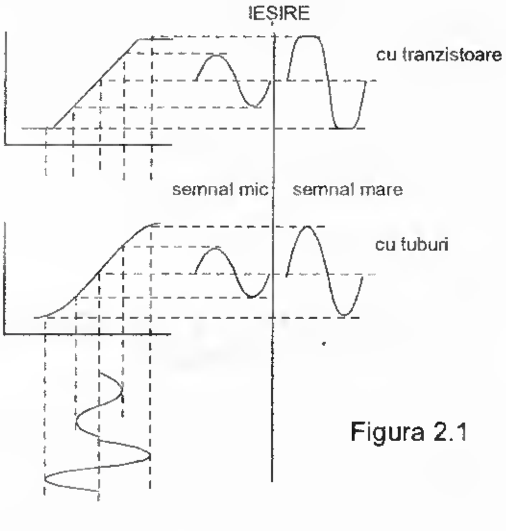


Figura 2.1

Datorită acestor considerente, s-a considerat utilă prezentarea în cadrul acestei lucrări a unor amplificatoare audio în componența cărora sunt incluse tuburi electronice.

A.A.F. de 3 W

Schema electrică a amplificatorului este prezentată în **figura 2.2**. Deși de o simplitate uimitoare, acest amplificator deține următoarele performanțe:

$P_N = 3$ W;	$\Delta f = 40$ Hz ÷ 18 kHz;
$Z_i = 470$ kΩ;	S/N ≥ 60 dB;
$Z_e = 4$ Ω;	THD ≤ 2%;
$U_i = 100$ mV;	TID ≤ 0,5%.

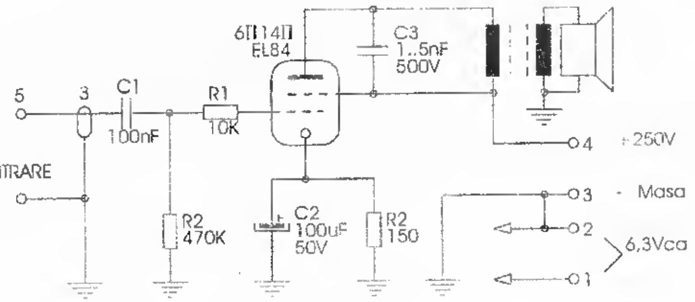


Figura 2.2

Se observă că semnalul audio se aplică pe grila 1 a tubului electronic T_1 de tip 6П14П sau EL 84, prin intermediul condensatorului C_1.

Rezistența R_3 realizează negativarea automată a tubului electronic. Condensatorul C_3 îmbunătățește caracteristica de transfer amplitudine – frecvență a amplificatorului în zona frecvențelor înalte. Regimul energetic al amplificatorului constă în alimentarea acestuia cu:

– 6,3 V / 0,5 A pentru filamentul tubului;

– 250 V/ 150 mA pentru alimentarea grilei 2 și a anodului.

Transformatorul de ieșire se confecționează folosind tole de transformator de tip E + I.

Miezul magnetic are o secțiune de 6 cm², iar întrefierul circuitului magnetic este de 0,15 mm. Schema de bobinaj și realizarea conexiunilor sunt prezentate în **figura 2.3**.

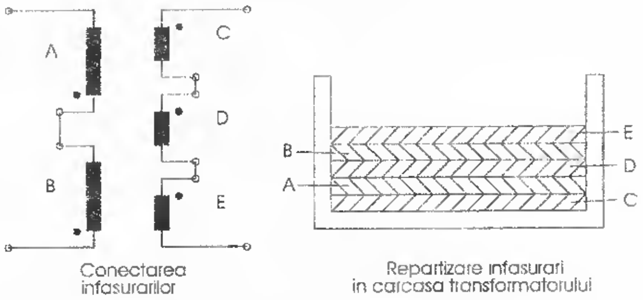


Figura 2.3

Înfășurările A și B au câte 1850 de spire din conductor CuEm cu diametrul 0,15 mm, iar în înfășurările C, D, E, câte 25 de spire din conductor CuEm cu diametrul 0,55 mm. Înfășurările se bobinează pe carcasa transformatorului de ieșire în ordinea precizată în figură (A – B – C – D – E), iar izolația dintre înfășurări va fi foarte bună, datorită valorii ridicate a tensiunii de lucru a montajului (U_A = 250 V).

Un montaj cu performanțe asemănătoare, de aceeși putere (3 W), este prezentat în **figura 2.4**.

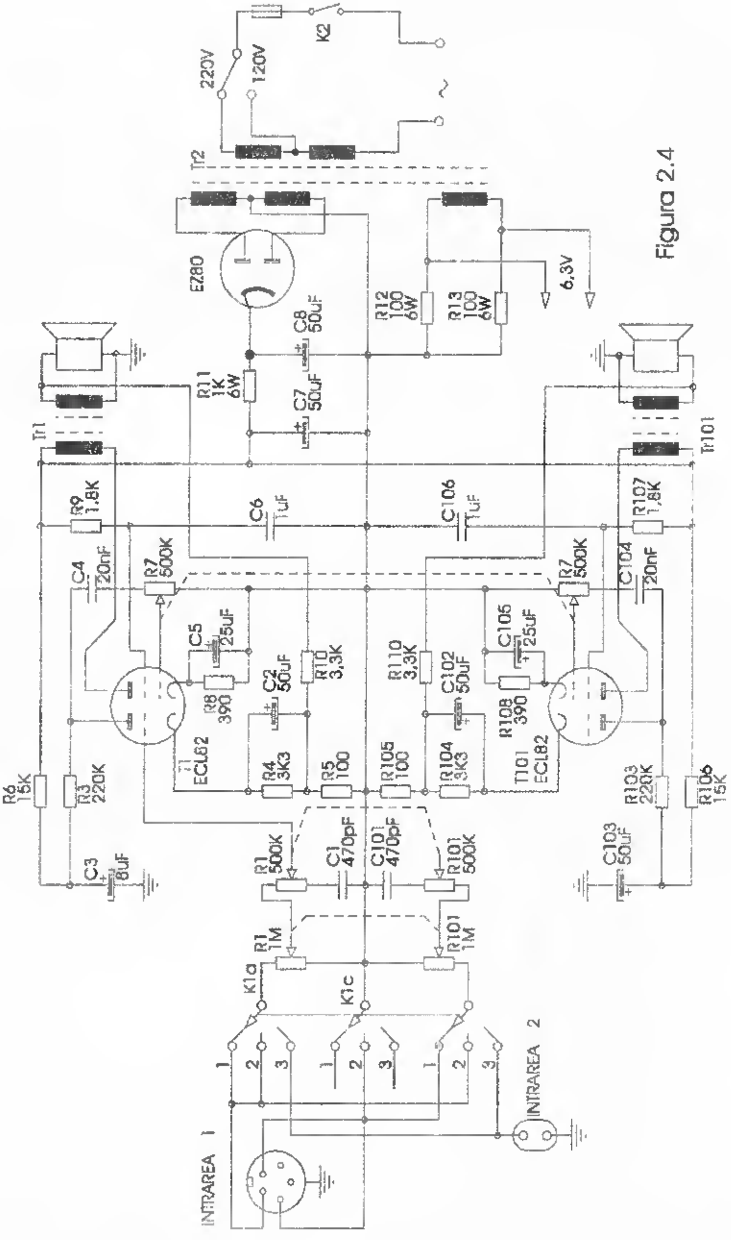


Figura 2.4

Se observă că este vorba de un amplificator stereofonic cu două secțiuni identice, care folosește tubul electronic ECL 82. De această dată amplificatorul este format dintr-un etaj amplificator de tensiune, realizat cu partea triodă a tubului electronic, iar etajul final folosește partea pentodă a aceluiași tub. Reglajul de nivel se realizează cu ajutorul potențiometrelor R_1 și R_{101}, iar corecția de ton cu potențiometrele R_2 și R_{102}. Negativarea triodei se realizează de către grupul de rezistențe înseriate R_4 R_5, iar negativarea pentodei de rezistența R_8. Reglajul balans se realizează folosind potențiometrele R_7 și R_7' (cuplate pe același ax, dar montate „în opoziție" în cadrul schemei electrice). Cele două transformatoare de ieșire sunt similare cu cel prezentat anterior. Se mai observă bucla de reacție negativă globală, realizată de rezistența R_{10}, amplasată între ieșirea montajului și divizorul de tensiune R_4R_5 din catodul triodei.

Alimentarea montajului se realizează folosind un transformator de rețea care furnizează:

– tensiunea de 6,3 V / 1,5 A pentru filamente;

– 2 x 235 V / 300 mA pentru tensiunea anodică.

În locul dublei diode redresoare EZ 80 se pot folosi două diode semiconductoare 1N4007, amplasate corespunzător (să livreze tensiune pozitivă).

A.A.F. de 4 W

O dată cu creșterea puterii livrate de către amplificatorul audio cu tuburi electronice, va crește în mod sigur și complexitatea montajului.

Amplificatorul de 4 W a cărui schemă electrică este prezentată în **figura 2.5.** deține următoarele performanțe:

$P = 4$ W;	$S/N \geq 65$ dB;
$Z_i = 500$ kΩ;	$\Delta f = 40$ Hz ÷ 18 kHz;
$Z_e = 4$ Ω;	THD ≤ 1,5%;
$U_i = 200$ mV;	TID ≤ 0,4%.

Se observă că semnalul de intrare este preluat de potențiometrul R_1 și, prin intermediul rezistenței R_2, aplicat pe grila 1 a tubului electronic T_1. Acesta îndeplinește rolul etajului de intrare, fiind totodată și amplificator de tensiune. Polarizarea grilei 2 a tubului T_1 este asigurată de grupul R_3 C_2. Semnalul audio amplificat este preluat din anodul tubului T_1 prin intermediul condensatorului C_3 și aplicat pe grila 1 a tubului electronic T_2. Acesta îndeplinește rolul etajului final, fiind de fapt amplificatorul de putere al montajului. Sarcina tubului T_2 o constituie înfășurarea primară a transformatorului de ieșire TR_1. Bucla de reacție negativă globală este realizată cu ajutorul grupului C_5R_9, conectat între înfășurarea secundară a transformatorului TR_1 și catodul tubului electronic T_1. Alimentarea cu energie electrică a montajului este asigurată de transformatorul de rețea Tr_2, care furnizează tensiunea alternativă destinată încălzirii filamentelor tuburilor electronice și totodată furnizează tensiunea înaltă ce urmează a fi redresată de T_3 – dublă diodă. Pentru un filtraj eficient al tensiunii continue s-a prevăzut filtrul Π format din grupul C_7–L_s–C_8.

Un montaj cu performanțe asemănătoare este prezentat în **figura 2.6**. De această dată se folosește, pentru îndeplinirea funcțiilor tuburilor electronice din montajul precedent, o triodă – pentodă de tip ECL 86. În vederea ușurării abordării construcției s-a prezentat varianta stereo a montajului. Potențiometrele P_1 și P_3 se utilizează la reglajul amplificării celor două canale informaționale L și R, iar potențiometrul P_2

folosește la reglajul balans. Potențiometrele P4 și P5 sunt destinate unui reglaj de ton în banda frecvențelor înalte. Transformatoarele de ieșire Tr1 și Tr2 sunt similare cu cel a cărui construcție a fost prezentată anterior.

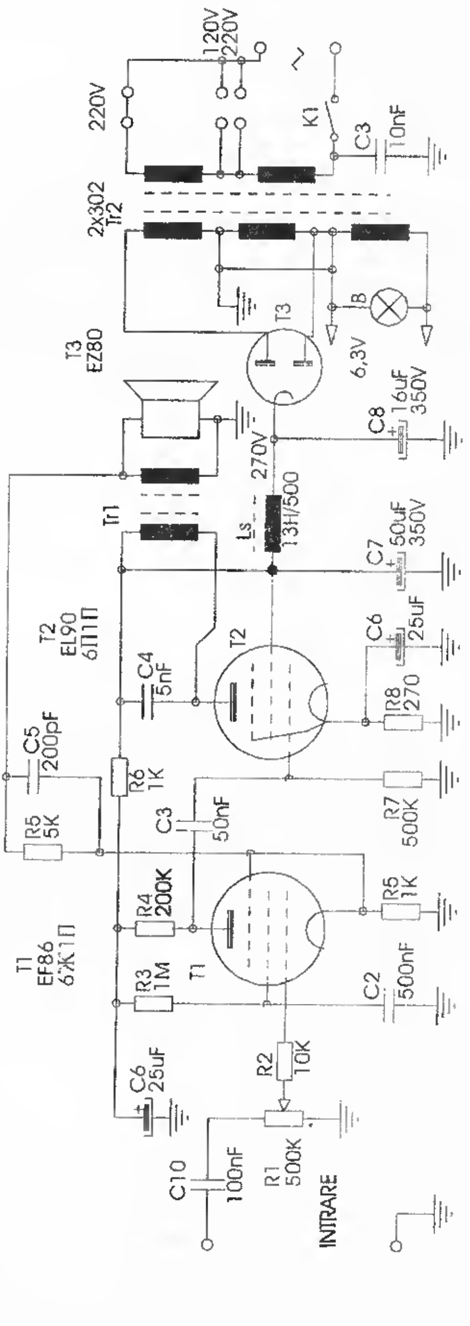


Figura 2.5

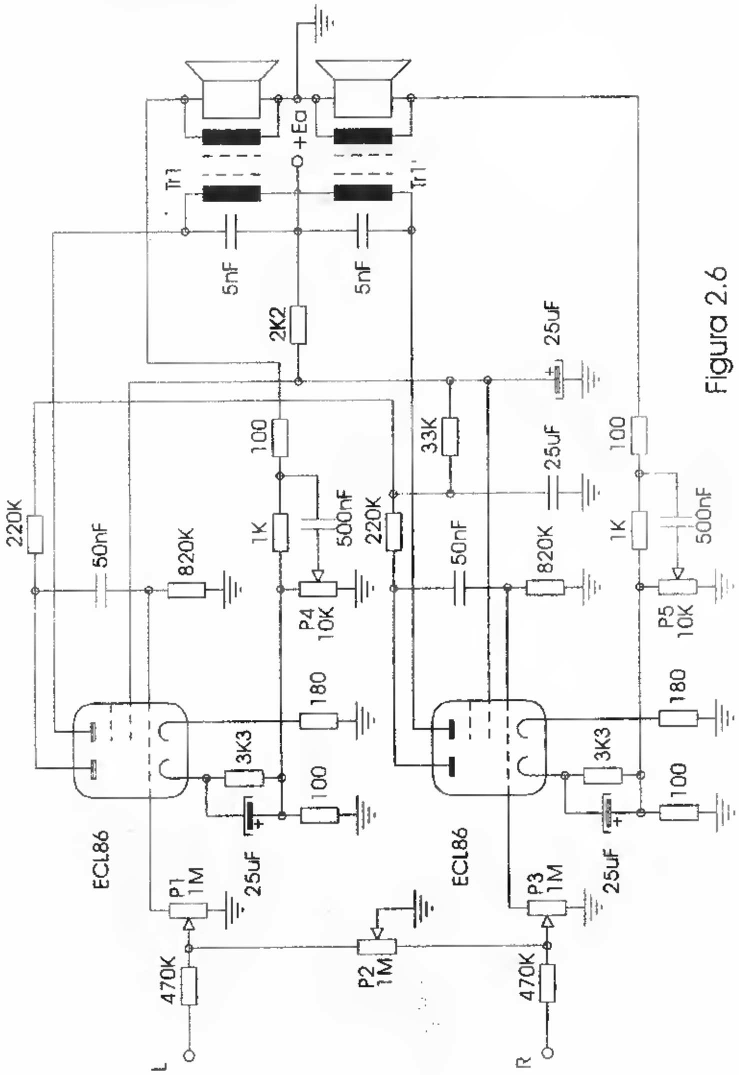


Figura 2.6

A.A.F. de 6 W

Schema electrică a amplificatorului este prezentată în **figura 2.7**. El deține următoarele performanțe:

P = 6 W;	Δf = 30 Hz ÷ 20 kHz;
Z_i = 1 MΩ;	S/N ≥ 65 dB;
Z_e = 4 Ω;	THD ≤ 1%;
U_i = 250 mV;	TID ≤ 0,4%.

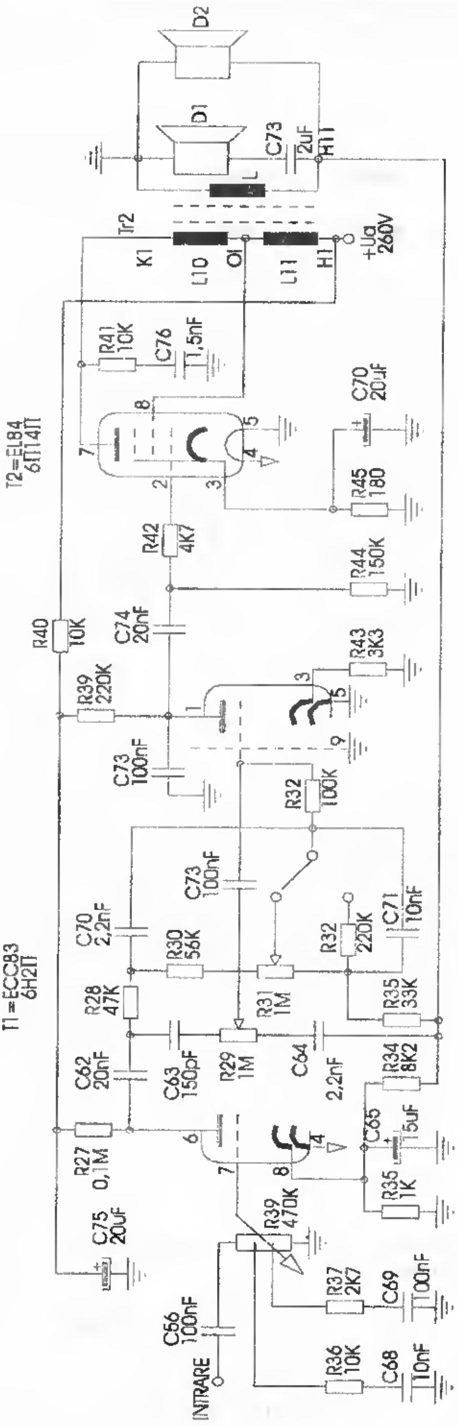

T1=ECC83
6H2П
T2=EL84
6П14П
INTRARE
C56 100nF
R36 10K
C68 10nF
R37 2K7
C69 100nF
R39 470K
C75 20uF
R27 0,1M
R35 1K
C65 5uF
C62 20nF
C63 150pF
R29 1M
C64 2,2nF
R34 8K2
R28 47K
R31 1M
R35 33K
C70 2,2nF
R30 56K
R32 220K
C71 10nF
C73 100nF
R32 100K
R39 220K
R40 10K
R43 3K3
C74 20nF
R44 150K
R42 4K7
R45 180
C70 20uF
R41 10K
C76 1,5nF
K1
L10
OI
L11
H1
+Ua
260V
Tr2
L
C73 2uF
H11
D1
D2

Figura 2.7

Corecție ton:

Frecvențe joase A = ± 10 dB/100 Hz

Frecvențe înalte A = ± 12 dB/10 kHz

Se observă că de această dată amplificatorul folosește trei tuburi electronice, tubul T_1 care reprezintă o dublă triodă și tubul T_2 – pentoda folosită în etajul final.

Componentele active care includ cele două triode proprii tubului T_1 sunt folosite ca amplificatoare de tensiune. Rețeaua de corecție Baxandall este amplasată între ieșirea primei triode – anod și intrarea celei de-a doua – grila 1. Din anodul celei de-a doua triode, semnalul de intrare, care a fost amplificat și corectat ca ton de reteaua Baxandall, este aplicat etajului final care conține tubul electronic T_2 (pe grila 1 a acestuia). Se observă că față de cazurile prezentate anterior, transformatorul din etajul final are o structură mai deosebită.

În vederea liniarității caracteristicilor de transfer ale pentodei T_2, grila a doua este alimentată de la înfășurarea primară a transformatorului Tr prin intermediul unei prize. Ea este realizată la circa 350 de spire dinspre capătul de alimentare cu tensiune înaltă a înfășurării primare a transformatorului T_1 (în rest, are aceleași date ca cel prezentat anterior). Această configurație a montajului implică funcționarea tubului T_2 într-un regim de lucru intermediar între pentodă și triodă.

Rezultatul este scăderea coeficientului THD datorită tensiunii de reacție negative care se aplică grilei 2 a tubului electronic T_2. Ca rezultat final, tubul electronic T_2 lucrează de această dată în regimul de funcționare a etajului final supraliniar, cu un procent redus de distorsiuni și cu o liniaritate îmbunătățită a caracteristicilor de transfer tensiune-curent.

Se mai observă că impedanța de sarcină a etajului final este formată din două difuzoare, D_1 și D_2. Difuzorul D_2 este specializat în redarea semnalelor audio de frecvență medie-înaltă. În acest fel spectrul auditiv de frecvență al semnalelor audio redate sonor este mult îmbunătățit.

A.A.F. de 8 W

Toate amplificatoarele cu tuburi electronice prezentate până acum se încadrează în tipul celor cu funcționare în clasa A a etajului final.

O creștere a puterii utile nu este posibilă folosind această configurație de montaj, deoarece pierderile de putere disipată devin prea mari, iar montajul devine total neeconomic. Iată de ce pentru un amplificator cu tuburi electronice capabil de a livra o putere mai mare se folosesc configurațiile în clasa B sau AB ale etajului final, care oferă un randament energetic mult mai bun (vezi considerentele prezentate la capitolul 1).

În **figura 2.8.** este prezentată schema electrică a unui amplificator audio cu tuburi electronice, care deține următoarele performanțe:

$P_N = 8$ W;	$\Delta f = 30$ Hz ÷ 20 kHz;
$Z_i = 500$ kΩ;	S/N ≥ 65 dB;
$Z_e = 4$ Ω;	THD ≤ 1,5%;
$U_i = 250$ mV;	TID ≤ 0,4%.

Analizând schema electrică a amplificatorului, se observă că semnalul audio se aplică etajului de intrare prin intermediul condensatorului C_1 la grila 1 a tubului electronic T_1. Acesta realizează amplificarea în tensiune a semnalului audio inițial. Semnalul amplificat este preluat din anodul tubului T_1 prin intermediul condensatorului

C_3 și aplicat etajului final al amplificatorului. Acest gen de etaj final cu tuburi electronice este de tipul celor „cu grila la masă". Se observă că semnalul audio amplificat este aplicat simultan pe grila 1 a tubului T_2 prin intermediul rezistenței R_4, și la masa montajului prin intermediul rezistenței R_5 (sarcina tubului T_1). Dar grila 1 a tubului electronic T_3 este conectată la masa montajului, prin intermediul rezistenței R_7, iar catozii celor două tuburi electronice T_2 și T_3 sunt conectați împreună galvanic la masa montajului, prin intermediul rezistenței R_6.

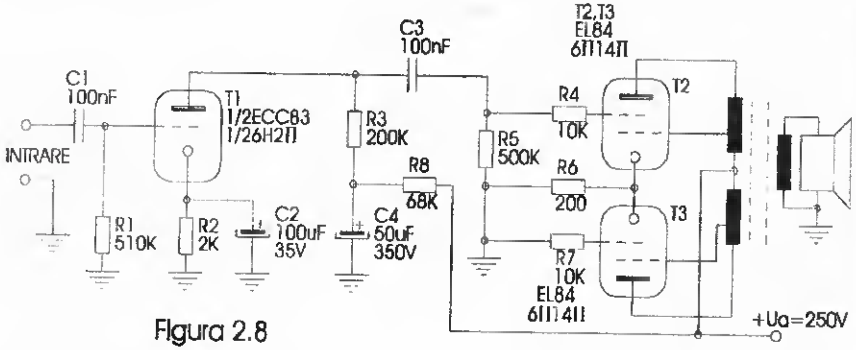


Figura 2.8

Este cunoscut faptul că pentru funcționarea normală a unui etaj final, pe grilele celor două tuburi electronice finale trebuie să fie aplicate „în contratimp" două semnale electrice având aceeași amplitudine, frecvență și formă de undă, dar situate unul față de celălalt în opoziție de fază (defazate cu 180°). Rolul etajului inversor de fază al semnalului audio amplificat de tubul T_1 este îndeplinit în cadrul acestui montaj chiar de către etajul final. Datorită faptului că rezistența R_6 este comună celor doi catozi conectați galvanic ai tuburilor T_2 și T_3, pe aceasta apare o tensiune aflată în aceeași fază cu tensiunea aplicată pe grila 1 a tubului electronic T_2. Această tensiune este aplicată simultan între grila 1 și catodul tubului electronic T_3. Dar să nu uităm că grila 1 a tubului electronic T_3 este conectată la masa montajului, prin intermediul rezistenței R_7. Datorită acestui fapt, tensiunea dintre grila 1 și catodul tubului T_2 va fi aceeași ca valoare și formă de undă cu cea dintre grila 1 și catodul tubului T_3, dar în opoziție de fază cu aceasta, fapt urmărit inițial.

Pentru buna funcționare a acestui tip de etaj final mai este însă necesar un lucru deosebit de important. Cele două tuburi electronice finale T_2 și T_3 trebuie să fie identice, adică să prezinte aceeași emisie electronică ce privește încălzirea catozilor, și mai ales să aibă aceleași caracteristici de funcționare $I_A = f(Ug)$, unde I_A = curentul anod – catod iar Ug = tensiunea de grilă. În caz contrar, etajul final introduce în timpul amplificării distorsiuni THD și TID apreciabile (nu mai sunt amplificate la fel cele două semialternanțe ale semnalului inițial, și de aici provine distorsionarea puternică a semnalului audio amplificat în putere – tensiune și curent). Ținând seama de acest lucru, în cazul abordării acestui tip de montaj, cele două tuburi electronice finale T_2 și T_3 se verifică obligatoriu la catometru, pentru a se constata identitatea lor. Desigur că transformatorul de ieșire al etajului final în clasa B sau AB prezintă o construcție diferită față de cele destinate clasei A de funcționare. În **figura 2.9.** este prezentată schema de bobinaj a transformatorului și modul de repartiție a înfășurărilor în secțiunea carcasei bobinate a acestuia. Această configurație este absolut necesară pentru obținerea unui cuplaj cât mai „strâns"

între bobinajele înfășurării primare și secundare a transformatorului, prin această procedură asigurându-se o valoare maximă a fluxului magnetic util, o valoare minimă a fluxului magnetic de dispersie și un procent minim de pierderi în miezul magnetic al transformatorului. Acesta se confecționează din tole de tablă silicoasă de profil E + I. Secțiunea centrală a miezului magnetic este de 8 cm².

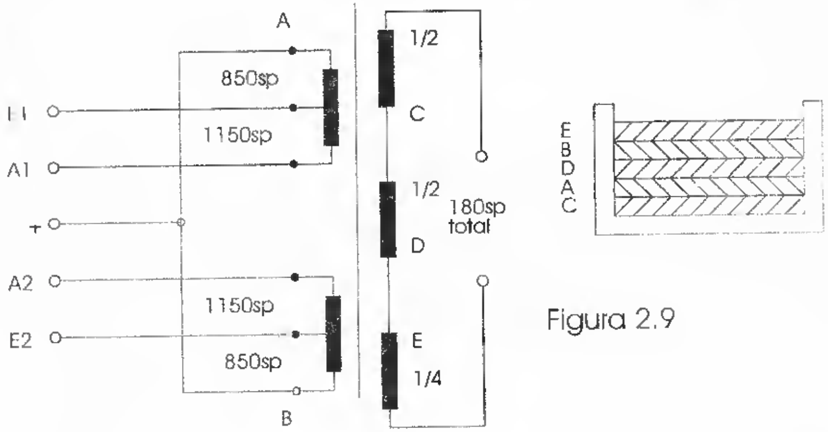


Figura 2.9

Fiecare înfășurare primară are câte 850 + 1150 de spire din conductor de CuEm gros de 0,2 mm, iar înfășurarea secundară 180 de spire din conductor CuEm Ø 1 mm. Dar atenție: cele două înfășurări primare trebuie să fie obligatoriu în opoziție de fază. Din acest motiv bobinajul se execută în felul următor:

– se bobinează înfășurarea C (45 de spire);

– se bobinează înfășurarea A (850 de spire + 1150 de spire);

– se bobinează înfășurarea D (90 spire);

– se scoate carcasa bobinei de pe dornul de bobinaj și se inversează sensul bobinajului (se inversează carcasa);

– se bobinează înfășurarea B (1150 de spire + 850 de spire);

– se scoate din nou carcasa bobinată și se inversează sensul bobinajului;

– se bobinează înfășurarea E (45 de spire).

Este de preferat a se marca începutul și sfârșitul fiecărei bobine, pentru a nu conecta din greșeală două înfășurări în opoziție (mai ales din înfășurarea secundară). Pentru fiecare început și sfârșit de bobină este indicat să se folosească conductoare izolate cu izolație de culori diferite, sau să se marcheze folosind o bucățică de hârtie inscripționată corespunzător, lipită cu scotch.

După realizarea bobinării carcasei, aceasta se impregnează obligatoriu folosind un lac electroizolant.

Deoarece transformatorul funcționează cu tensiuni mari (250 – 285 V), obligatoriu între secțiunile bobinajului se amplasează o izolație corespunzătoare (hostafan, triafol, melinex, pânză uleiată etc).

Miezul magnetic al transformatorului se realizează întrețesut (fără întrefier) dispunând alternativ E-urile și I-urile acestuia. După întolare transformatorul se impregnează a doua oară folosind lac electroizolant. De modul de execuție al transformatorului de ieșire și respectarea indicațiilor de construcție precizate anterior depind fundamental performanțele amplificatorului ce urmează a fi realizat.

Transformatorul se poate utiliza la majoritatea amplificatoarelor în clasa AB sau B, ce urmează să debiteze o putere până la circa 14 W.

Desigur că amplificatorul de 8 W se poate perfecționa. O variantă îmbunătățită a acestuia este prezentată în **figura 2.10.** Se observă că de această dată rolul defazorului este îndeplinit de etajul funcțional care include tubul electronic T_2. La aplicarea semnalului audio amplificat, preluat din anodul tubului electronic T_2, tensiunea de la bornele rezistenței R_5 variază identic, dar în opoziție de fază, cu tensiunea de la bornele rezistenței R_6.

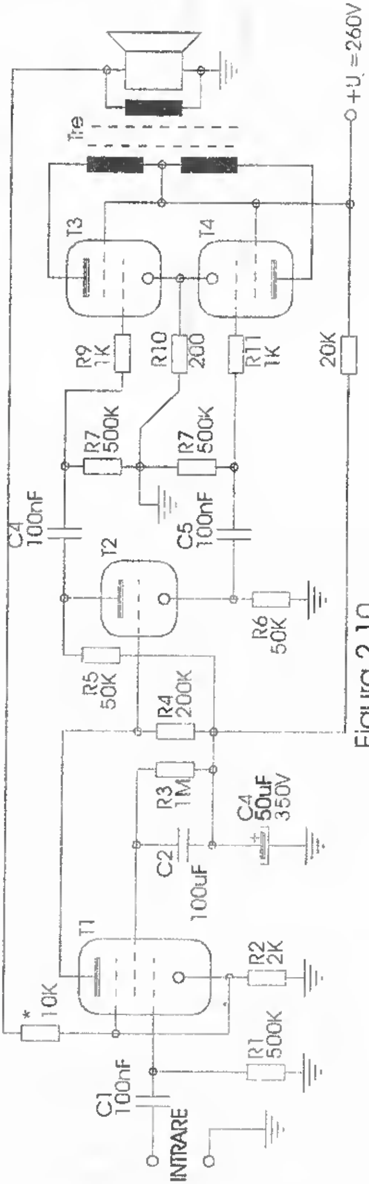


Figura 2.10

Acest lucru se întâmplă datorită faptului că la aplicarea semnului pe grila unui tub electronic, potențialul anodic variază invers proporțional cu potențialul catodic. Pentru ca cele două tensiuni în opoziție de fază să fie identice ca valoare, este absolut necesar ca rezistențele R_5 și R_8 să aibă valori identice (cu toleranța sub 1%). Etajul final, realizat cu ajutorul tuburilor T_3 și T_4 preia cele două semnale audio amplificate în antifază și le amplifică în putere (deci, în tensiune și curent). Transformatorul de ieșire TrE reface (în înfășurarea secundară) forma de undă a semnalului audio amplificat, realizând concomitent și adaptarea de impedanță (în sensul coborârii ei) cu cea a sarcinii amplificatorului – difuzorul sau incinta acustică. Performanțele acestui montaj sunt asemănătoare cu cele ale montajului prezentat anterior, cu diferența că banda de trecere a acestui amplificator este mult mai mare (Df = 25 Hz – 30 kHz), atenuarea la capetele ei fiind mai mică de 1,5 dB.

A.A.F. de 10 W

Montajul prezentat în **figura 2.11.** deține următoarele performanțe:

P = 10 W;	Δf = 30 Hz ÷ 20 kHz;
Z_i = 500 kΩ;	S/N ≥ 65 dB;
Z_e = 4 Ω;	THD ≤ 1,2%;
U_i = 150 mV;	TID ≤ 0,3%.

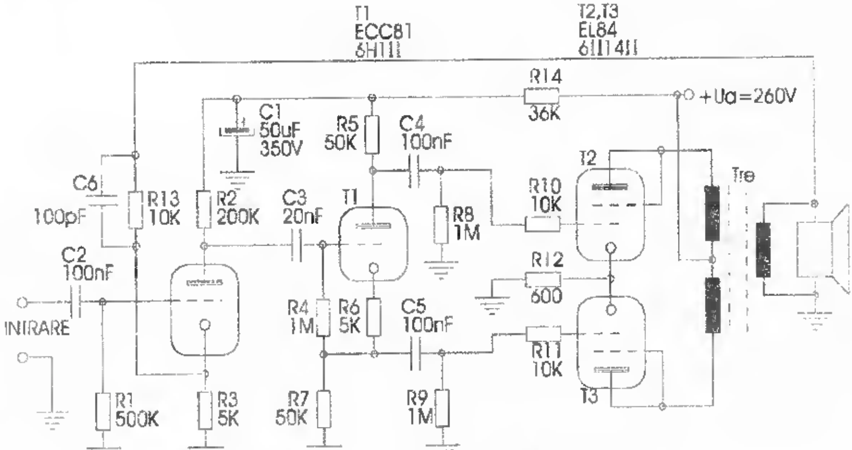


Figura 2.11

Se observă că, de această dată, etajul de intrare și defazorul sunt realizate cu un tub electronic T_1 de tip dublă triodă. Semnalul audio de intrare se aplică pe grila 1 a primei triode prin intermediul condensatorului C_2. Amplificarea în tensiune a etajului de intrare (fără reacția negativă globală) este de circa 32 dB.

Din anodul primei triode a tubului electronic T_1, semnalul audio amplificat se aplică, prin intermediul condensatorului C_3, pe grila 2 a celei de a doua triode. Ea realizează funcția defazorului, la bornele rezistențelor R_5 și R_7 (identice ca valoare) obținându-se cele două semnale audio identice ca valoare și formă de undă, dar în antifază. Ele se aplică, prin intermediul condensatoarelor C_4 și C_5, etajului final, pe

grilele 1 ale tuburilor electronice T_2 și T_3, care sunt amplificate în montaj ca triode, iar R_{12} este dimensionată pentru acest regim de lucru. Bucla de reacție negativă ce reglementează amplificarea generală a montajului este formată din grupul $R_{13}C_6$, conectat între ieșirea transformatorului de ieșire TR_E și catodul primei triode a tubului electronic T_1.

Pentru buna funcționare a montajului, este necesar să fie îndeplinite egalitățile $R_5 = R_7$, $R_8 = R_9$, $R_{10} = R_{11}$, iar cele două tuburi T_2 și T_3 să prezinte parametri identici. Un amplificator cu performanțe asemănătoare este prezentat în **figura 2.12**.

Se observă că el este dotat cu posibilitatea reglajului fiziologic de volum (potențiometrul R_4 și componentele aferente). Prima triodă a tubului electronic de tip T_1 lucrează ca amplificator de tensiune a semnalului audio inițial. Urmează o rețea corectoare de ton, de tip Baxandall, iar semnalul audio corectat este ulterior amplificat de cea de a doua triodă a tubului electronic T_1. Urmează etajul defazor, realizat cu ajutorul tubului electronic T_2 și al componentelor aferente, care funcționează ca la amplificatorul prezentat anterior. Etajul final deține o alură mai deosebită. El este de tipul etajelor finale supraliniare, asigurând, datorită concepției și configurației sale, un procent foarte mic de distorsiuni în momentul livrării puterii nominale (THD < 0,8%).

Bucla de reacție negativă formată din grupuri RC, amplasată între ieșirea transformatorului de ieșire TR_E și catodul celei de-a doua triode a tubului electronic T_1, a fost dimensionată în vederea unei funcționări optime a amplificatorului, atât în regimul normal de funcționare, cât și la apariția regimurilor tranzitorii. Se mai remarcă prezența celor două condensatoare de 500 pF, amplasate între anozii tuburilor electronice T_3 și T_4 și masă. Ele au fost prevăzute în scopul măririi stabilității în funcționare a etajului final, evitându-se prin acest amplasament orice tendință de oscilație în timpul diverselor regimuri de funcționare.

A.A.F. de 12 W

Schema electrică a amplificatorului de 12 W este prezentată în **figura 2.13.** El deține următoarele performanțe:

P = 12 W;	Δf = 20 Hz – 40 kHz;
Z_i = 500 kΩ;	S/N > 65 dB;
Z_e = 4 Ω;	THD < 0,8%;
U_i = 200 mV;	TID < 0,2%;
	SR = 12 V/μs.

Analizând schema electrică a acestui amplificator, față de cele prezentate anterior se remarcă realizarea mai deosebită a etajului defazor. De această dată defazarea semnalului audio amplificat de tubul electronic T_1 se face cu ajutorul a două tuburi electronice identice, de tip triodă, incluse în dubla triodă T_2. Cele două triode au catozii conectați galvanic la masă prin intermediul rezistenței R_{10}. Grila 1 a primei triode din tubul T_2 preia direct semnalul electric amplificat de tubul T_1, iar grila 1 a celei de-a doua triode este conectată la masa montajului, din punctul de vedere al semnalului alternativ audio, prin intermediul condensatorului C_5. Datorită acestei configurații a montajului, tensiunea de pe grila 1 a primei triode, față de catodul acesteia, este în opoziție de fază cu tensiunea de pe grila 1 a celei de-a doua triode față de catodul ei. Avem din nou de-a face cu o defazare de tipul „cu grila la masă", numai că acum ea nu se mai face în etajul final (principiul fiind același).

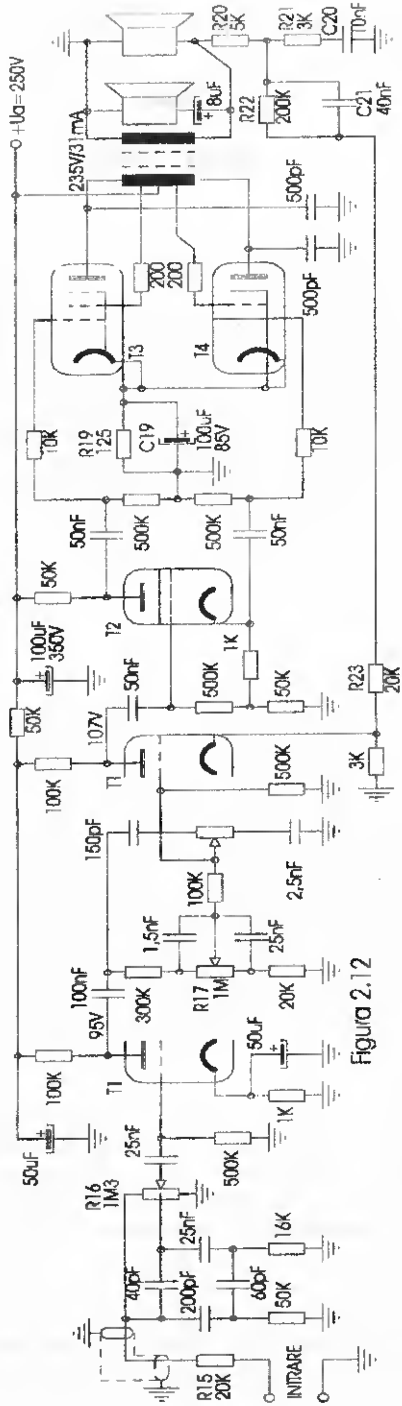

+Ua=250V
T3,T4=EL84
6П14П
T2=ECC92
T1=ECC83
235V/31mA
R20
5K
R21
3K
C20
10nF
8uF
R22
200K
C21
40nF
500pF
200
200
T3
T4
500pF
R19
125
C19
100uF
85V
10K
10K
50nF
500K
500K
50nF
50K
T2
100uF
350V
1K
50K
50nF
500K
50K
R23
20K
107V
T1
3K
500K
100K
150pF
100K
2,5nF
1,5nF
25nF
100nF
300K
R17
1M
20K
95V
50uF
T1
100K
1K
50uF
25nF
500K
R16
1M3
25nF
16K
40pF
200pF
60pF
50K
R15
20K
INTRARE

Figura 2.12

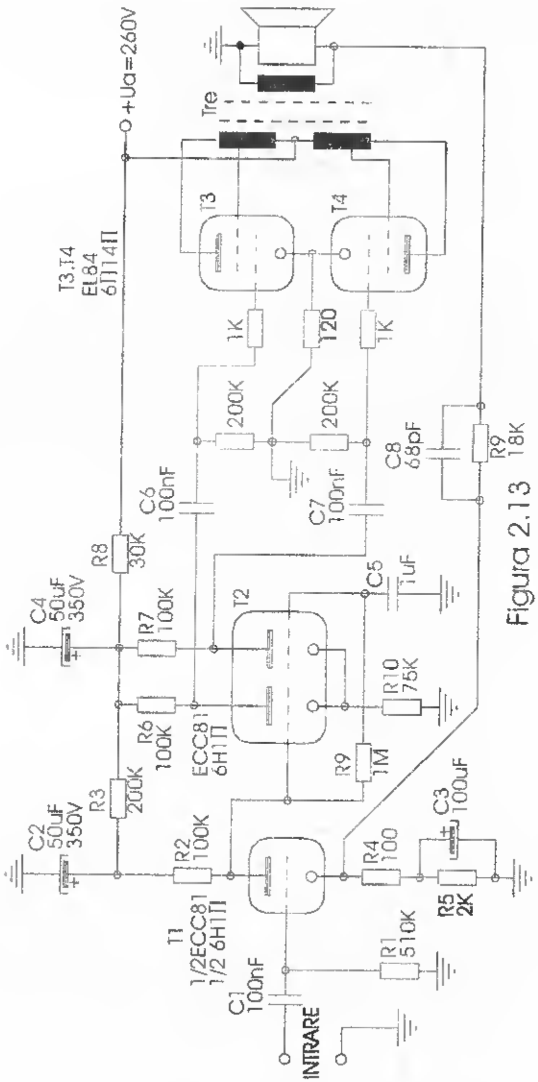


Figura 2.13

Această configurație a defazorului oferă însă marele avantaj al unei impedanțe de ieșire constante pentru fiecare dintre cele două semnale audio amplificate de dubla triodă T_2 (cel inițial și cel defazat). Acest lucru oferă o bandă de trecere în frecvența foarte lărgită a amplificatorului, alături de marele avantaj al unei amplificări mari fără distorsiuni. Etajul final este de tip ultraliniar, cu particularitățile și funcționarea similare celor prezentate până acum. Bucla de reacție negativă, formată din grupul R_8C_8, reglementează atât amplificarea generală a amplificatorului cât și stabilitatea acestuia (condensatorul C_8 limitează banda de trecere în domeniul frecvențelor ultrasonore). Un amplificator cu performanțe asemănătoare este prezentat în **figura 2.14**.

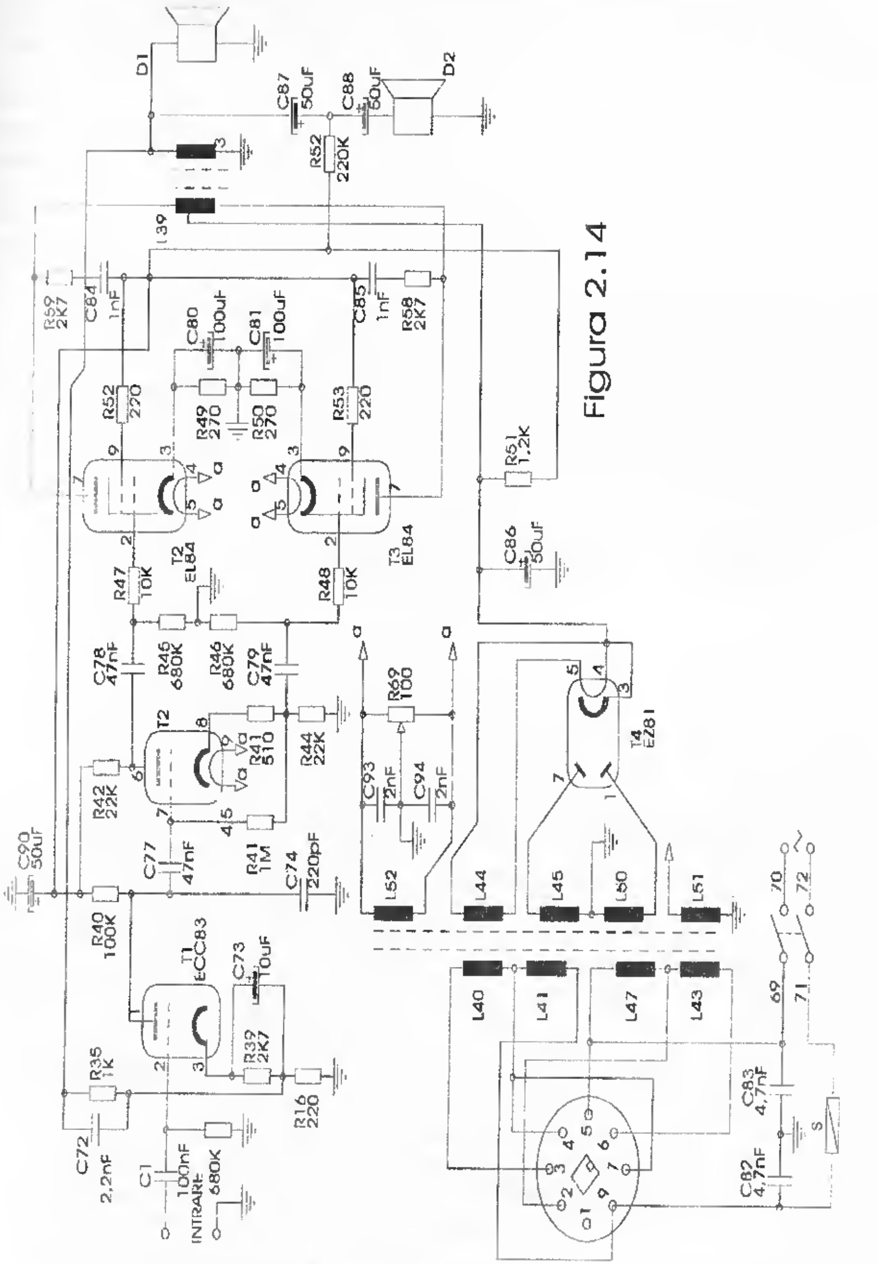


Figura 2.14

Deși nu se lucrează în regimul ultraliniar al etajului final, componentele și configurația schemei electrice oferă acestui amplificator performanțe foarte bune. Banda de trecere este de 30 Hz÷20 kHz, iar THD < 1%, în rest performanțele electrice fiind identice cu cele ale amplificatorului prezentat în **figura 2.13**.

Se remarcă posibilitatea intercalării unui grup suplimentar de difuzoare (D_2) prin intermediul condensatoarelor electrolitice polarizate optim în curent continuu, cu o tensiune de negativare preluată din catodul tubului electronic T_2. În vederea micșorării la minim a brumului de rețea, s-a prevăzut potențiometrul de 100 Ω amplasat pe bornele de alimentare cu tensiune a filamentelor tuburilor electronice, iar cursorul acestuia este conectat la masă. După realizarea practică a amplificatorului (pe cablaj imprimat, șasiu de tablă etc.) se stabilește poziția cursorului potențiometrului astfel încât brumul să fie practic inexistent. Alimentarea cu energie electrică de la rețeaua de curent alternativ implică prezența transformatorului de rețea, urmat de un redresor de tip dublă alternanță cu priza mediană, la care elementele active sunt constituite din cele două diode ale tubului electronic T_4.

A.A.F. DE 25 W

Amplificatorul a cărui schemă electrică este prezentată în **figura 2.15.** deține următoarele performanțe:

P_n = 25 W (18 W);	Δf = 18 Hz – 25 kHz;
Z_i = 1 MΩ;	S/N > 80 dB;
Z_e = 4 Ω (8 Ω);	SR = 25 V/μs.
U_i = 250 mV;	THD < 0,07%;
	TID < 0,02%;

Reglaj: 100 Hz → ± 15 dB
ton 10 kHz → ± 14 dB

Performanțele deosebite ale acestui amplificator cu tuburi electronice, care îl încadrează cu ușurință în clasa HI-FI, au rezultat prin alegerea unei configurații deosebite a schemei electrice. Semnalul de intrare audio se aplică inițial potențiometrului R_2, prevăzut în montaj pentru realizarea reglajului de volum fiziologic al nivelului. De la cursorul potențiometrului R_2, prin intermediul condensatorului C_3, semnalul audio se aplică pe grila 1 a tubului electronic T_1, prevăzut în montaj ca amplificator de tensiune. Din anodul tubului electronic T_1, semnalul audio amplificat este aplicat unei rețele de tip Baxandall, care efectuează corecția de ton dorită în banda frecvențelor joase sau înalte. De la rețeaua corectoare de ton, prin intermediul condensatorului C_{11}, semnalul audio corectat se aplică pe grila 1 a primei triode a tubului electronic T_2 de tip dublă triodă. El realizează defazarea semnalului audio defazor de tipul „cu grila la masă", care urmează a fi amplificat de tuburile electronice T_3 și T_4. Se observă că acestea reprezintă două duble triode, amplasate într-o configurație de amplificator diferențial de tip punte, astfel încât amplificarea celor două semnale audio defazate să fie efectuată identic și totodată aproape fără distorsiuni. Acest considerent se obține și din polarizarea adecvată în curent continuu a celor două duble triode T_2 și T_3, alături de cuplajul galvanic anod-grilă, pe cele două trasee de amplificare în curent alternativ, al celor două semnale audio identice, dar defazate cu 180°. Egalarea nivelului celor două semnale defazate se efectuează acționând cursorul potențiometrului semireglabil R_{22}. Prin acest reglaj se realizează de fapt egalitatea dintre curenții catodici ai celor două triode conținute de tubul electronic T_2. Diferența de potențial de 5 V dintre grilele și catozii tuburilor T_3 și T_4 (U anod T_3 = 100 V, U grilă T_4 =105 V), necesară polarizării optime a dublei triode din tubul T_4, se obține modificând (dacă este necesar) în limitele de ±10% valoarea rezistenței R_{32} (R_{32} = 75 kΩ ± 10%). Condensatoarele C_{15} și C_{16} reprezintă reacții

negative care mențin stabilitatea în funcționare a amplificatorului diferențial punte, format cu ajutorul tuburilor electronice T_3 și T_4.

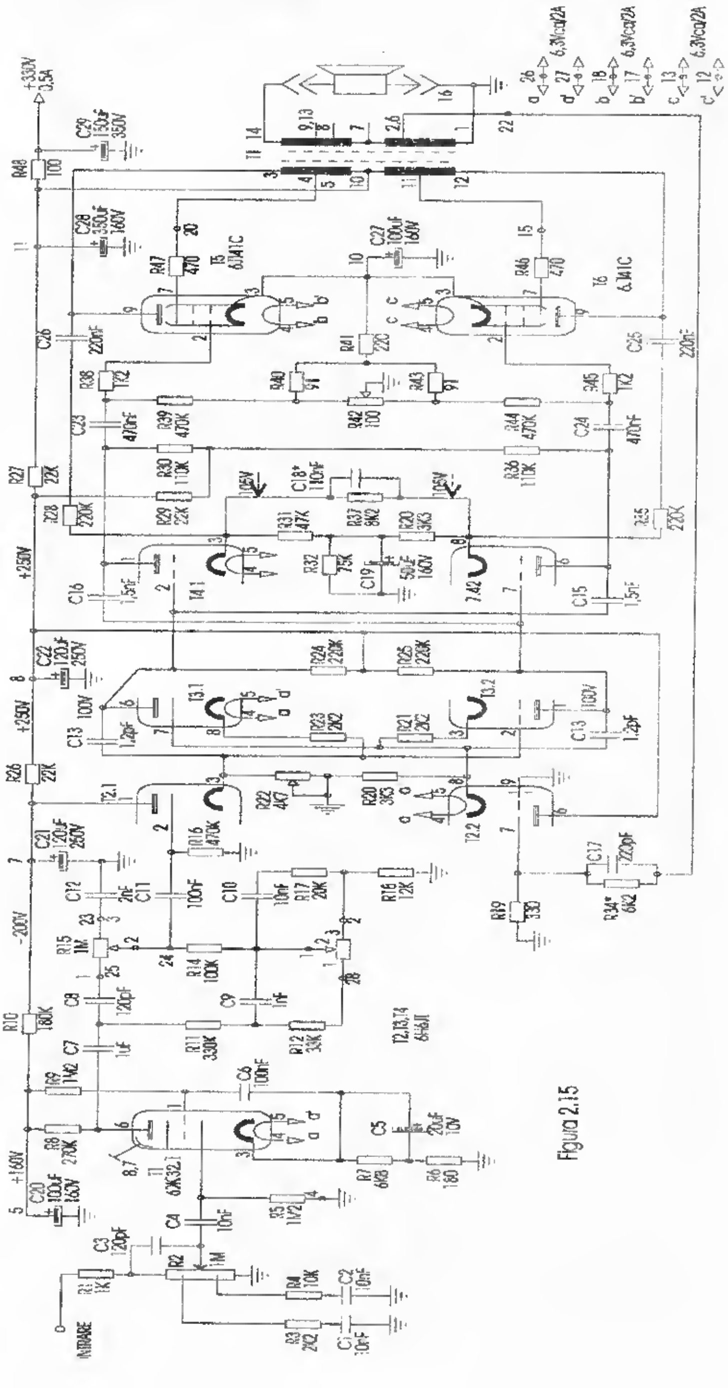


Figura 2.15

Din anozii dublei triode conținute de tubul electronic T_4, prin intermediul condensatoarelor C_{23} și C_{24}, cele două semnale audio alternative defazate cu 180° și amplificate în tensiune se aplică etajului final, care conține tuburile electronice T_5 și T_6 (la grilele acestora, prin intermediul rezistențelor R_{38} și R_{45}). Etajul final este de tip ultraliniar. În vederea obținerii unei identități în privința caracteristicilor dinamice de funcționare ale celor două tuburi electronice T_5 și T_6 (I_A = f(Ug)) s-a prevăzut reglajul curenților catodici ai acestora, care se face prin acționarea potențiometrului semireglabil R_{42}. Buclele de reacție negativă locală $R_{28}C_{26}$ și $R_{35}C_{25}$ liniarizează caracteristicile de transfer ale etajului final, reducând practic la minim procentul de distorsiuni THD și TID al amplificatorului. Transformatorul de ieșire se realizează folosind tole E+I miezul magnetic al bobinei având o secțiune de 10 cm². Înfășurarea primară conține 600 + 800 de spire de CuEm ∅ 0,2 mm pe fiecare ramură destinată alimentării anodice (5–4 = 600, 4–3 = 800 etc.), iar înfășurarea secundară 15+15+15 spire din conductor CuEm ∅ 1mm. Realizarea practică se face conform procedurii pentru transformatorul destinat etajului final ultraliniar (vezi desenul din **figura 2.9.**) În **figura 2.16.** este prezentată o variantă de cablaj imprimat pentru acest tip de amplificator. Este indicat a se folosi numai piese de bună calitate, în vederea obținerii performanțelor electrice estimate inițial. Condensatorul C_{17}, care face parte din bucla de reacție negativă globală $R_{34}C_{17}$, se alege prin câteva încercări, valoarea lui fiind stabilită experimental (folosind generatorul GAF, osciloscopul și ulterior tone-burst generator pentru testarea dinamică – vezi cap. 1). Reglajul amplificării montajului se poate face modificând în limite de ±10% valoarea rezistenței R_{34}. Deși montajul pare inițial destul de complex, o dată realizat și reglat va confirma pe deplin cerințele celui mai pretențios constructor amator de audiții HI-FI.

A.A.F. de 30 W

Deși consumul energetic este destul de mare pentru un amplificator cu tuburi electronice capabil să livreze o putere nominală de 30 W (a nu se uita, mai ales la varianta stereo, puterea disipată, puterea necesară încălzirii filamentelor tuburilor electronice etc.) considerăm utilă prezentarea unei scheme electrice de acest tip – **figura 2.17**.

Amplificatorul deține următoarele performanțe:

P_n = 30 W;	Δf = 18 Hz – 22 kHz (A = 0,5 dB);
Z_i = 1 MΩ;	S/N = 85 dB;
Z_e = 4 Ω;	SR = 25 V/μs;
U_i = 450 mV;	THD < 0,4%;
	TID < 0,08%;

Analizând schema electrică prezentată în **figura 2.17.** se observă că semnalul de intrare audio se aplică pe grila 1 a triodei conținute de tubul electronic T_1 (dublă triodă) prin intermediul rezistenței R_1 (a se avea grijă la cuplajul în curent alternativ de la etajul corector de ton care precede amplificatorul de putere, printr-un condensator de 1 μF/ 250 V neelectrolitic). Dubla triodă aflată în componența tubului electronic T_1 realizează inițial defazarea semnalului audio – defazor de tipul cu grila la masă, analizat anterior. Semnalul audio amplificat, dar defazat cu 180° de cele două triode aflate în componența tubului electronic T_1 se aplică galvanic, prin intermediul rezistențelor R_8 și R_9, pe grilele 1 ale dublei triode aflate în componența tubului electronic T_2. Din anozii acestora, prin intermediul condensatoarelor C_2 și C_3, semnalele audio identice amplificate, dar defazate cu 180°, se aplică etajului final (pe grilele 1 ale tuburilor electronice T_3 și T_4).

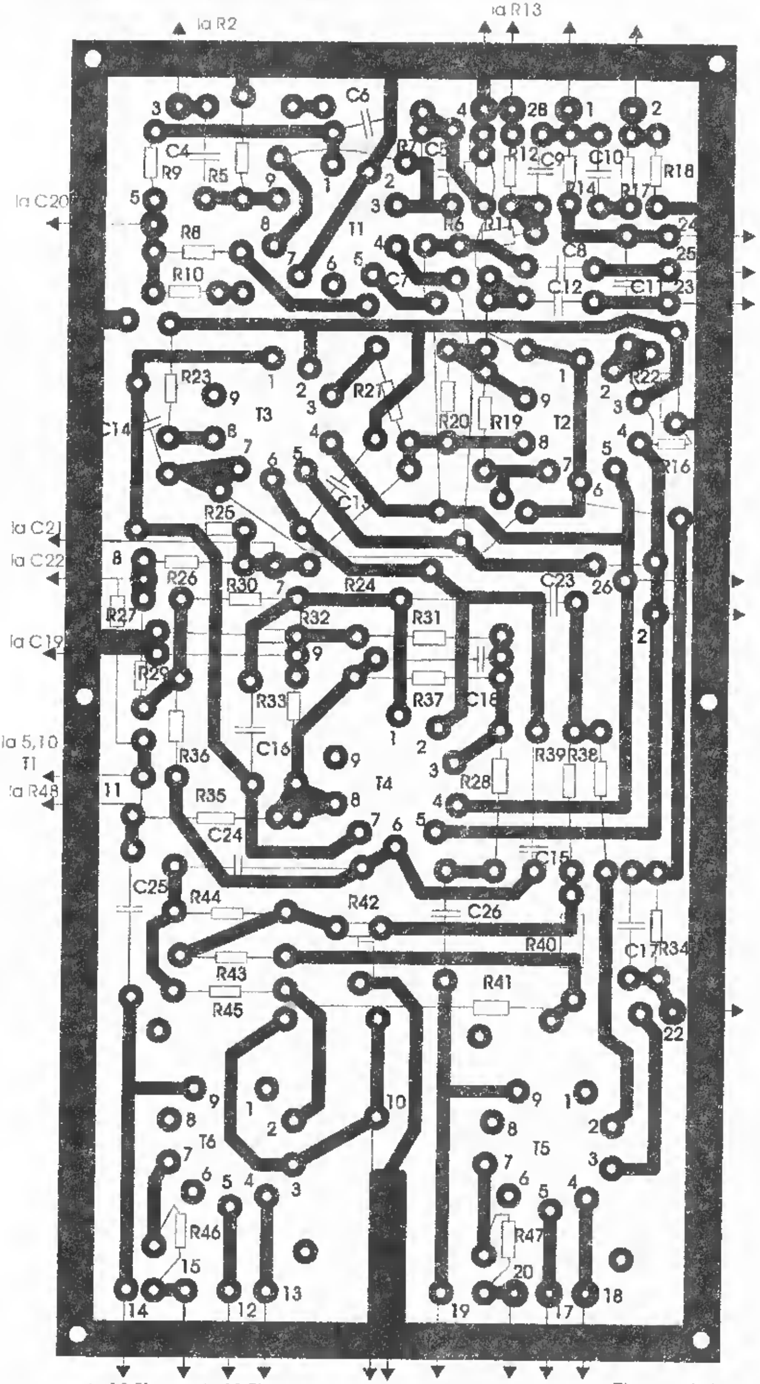

la R2
la R13
la C20
la C21
la C22
la C19
la 5,10 T1
la R48
T1
T2
T3
T4
T5
T6
la 12 T1
la 11 T1
la C27
la 3 T1
la 4 T1

Figura 2.16

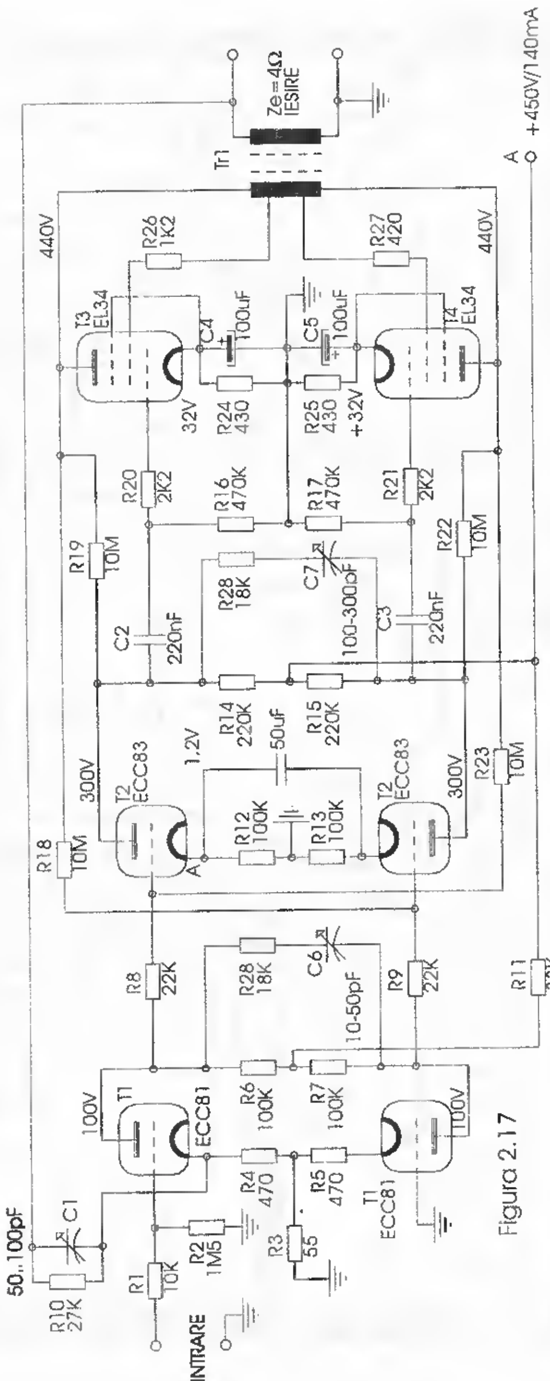

Ze=4Ω
IESIRE
Tr1
A
+450V/140mA
440V
440V
R26
1K2
R27
420
T3
EL34
T4
EL34
C4
100uF
C5
100uF
R24
430
R25
430
32V
+32V
R20
2K2
R21
2K2
R16
470K
R17
470K
R19
10M
R22
10M
R28
18K
C7
100-300pF
C2
220nF
C3
220nF
R14
220K
R15
220K
50uF
1,2V
300V
300V
T2
ECC83
T2
ECC83
R12
100K
R13
100K
R18
10M
R23
10M
A
R8
22K
R9
22K
R28
18K
C6
10-50pF
R11
33K
100V
100V
T1
ECC81
R6
100K
R7
100K
R4
470
R5
470
T1
ECC81
50..100pF
C1
R10
27K
R1
10K
R2
1M5
R3
55
INTRARE

Figura 2.17

Etajul final este de tip ultraliniar, configurație care asigură o amplificare cu distorsiuni THD și TID minime. Rezistențele R_{18} și R_{19} reprezintă în montaj reacții negative locale, care contribuie la liniarizarea caracteristicilor de transfer tensiune – curent necesare bunei funcționări a etajului final. Bucla de reacție negativă globală, care definește amplificarea montajului, este constituită din grupul $R_{10}C_1R_4$ ($A = 1+R_{10}/R_4$). Condensatorul trimer C_1 a fost prevăzut în vederea limitării amplificării în domeniul frecvențelor ultrasonore, realizând concomitent și o reacție negativă foarte puternică în acest domeniu, urmarea fiind creșterea stabilității în funcționare a amplificatorului și totodată prevenirea din start a oricărei tendințe de autooscilație. Din același considerent a fost prevăzut și grupul $R_{28}C_6$, care asigură în plus defazajul corect (180°) al celor două semnale audio amplificate de dubla triodă T_1 în zona frecvențelor înalte. Se menționează că, pentru diminuarea distorsiunilor neliniare de tip TID, care pot apărea în regimurile tranzitorii de funcționare a amplificatorului, amplificarea globală a montajului a fost stabilită la valoarea A = 40 dB. Desigur că pentru acest montaj, transformatorul de ieșire TR_E necesită o construcție deosebit de îngrijită, pentru confirmarea performanțelor montajului estimate inițial. În primul rând, inductanța parazitară (de scăpări) a transformatorului de ieșire trebuie să fie mai mică de 14 mH (Ls < 14 mH). Acest fapt presupune un „cuplaj" deosebit de bun între înfășurările primare și secundare ale transformatorului, astfel încât fluxul magnetic de dispersie (de scăpări) să fie redus la minim. În vederea realizării acestui obiectiv, se propune o construcție practică a transformatorului de ieșire, prezentată în **figura 2.18**. Transformatorul de ieșire este realizat cu tole E–16, iar grosimea pachetului de tole este de 6 cm. Înfășurările primare P_1 și P_3 conțin câte 1250 de spire, cu prize după 714 spire. Înfășurările P_2 și P_4 conțin tot 1250 de spire, dar priza este scoasă după 536 de spire. Atenție mare la sensul de bobinaj – P_1 și P_2 sunt în opoziție cu P_3 și P_4 (vezi indicațiile de la transformatorul ultraliniar descris anterior). Cele patru înfășurări P_1–P_4 se bobinează cu conductor CuEm ∅ 0,15 mm. Înfășurările S_1 și S_2 conțin câte 85 de spire din conductor CuEm ∅ 0,6 mm. Se menționează că și ele sunt în opoziție (astfel că se pot pune în serie). Amplasamentul înfășurărilor și interconectarea lor sunt precizate în **figura 2.18**. Se menționează că numărul de spire al înfășurărilor secundare S_1 și S_2 pentru altă impedanță de sarcină a incintei acustice se poate estima conform relației: n2 = 35/Zs. Deși realizarea practică a transformatorului TR_E este destul de laborioasă, respectând întocmai indicațiile constructive, lucrarea va fi dusă la bun sfârșit. Nu este permisă nici o greșeală – altminteri amplificatorul este compromis din start! Izolația dintre înfășurările primare și secundare va fi de cea mai bună calitate (triafol, preșpan–hostafan etc.).

Alimentatorul cu energie electrică al amplificatorului trebuie să fie capabil să livreze o putere de minim 140 VA (tensiune înaltă, filamente etc.). Pentru filtrajul tensiunii înalte destinate alimentării anozilor etajului final (450 V, cu un curent de circa 150 mA la livrarea puterii nominale) se recomandă amplasarea unei bobine cu miez de fier (drosel) cu parametrii L = 8 mH, R = 14 Ω. Ea este capabilă să realizeze cel mai eficient filtraj al tensiunii de alimentare a anozilor. În mod practic se folosește un filtru de tip Π, la care bobina cu miez de fier L are parametrii specificați anterior, iar cele două condensatoare electrolitice de filtraj prezintă valoarea 50 μF/630 V.

Pentru realizarea practică a amplificatorului se recomandă obținerea unui cablaj imprimat corespunzător, lăsând distanța de circa 100 mm între triode și minim 200 mm între tuburile electronice T_3 și T_4 (și, evident, celelalte tuburi apropiate), în vederea unei răciri eficiente a acestora. Se folosesc socluri pentru tuburi electronice realizate

din material ceramic. Nu se recomandă traseele de cablaj imprimat pentru alimentarea filamentelor (se utilizează conductoare din CuEm ∅ 1, împletite, cu izolație de tip PE). A nu se uita prezența în montaj (nespecificată în schema electrică) a potențiometrului antibrum.

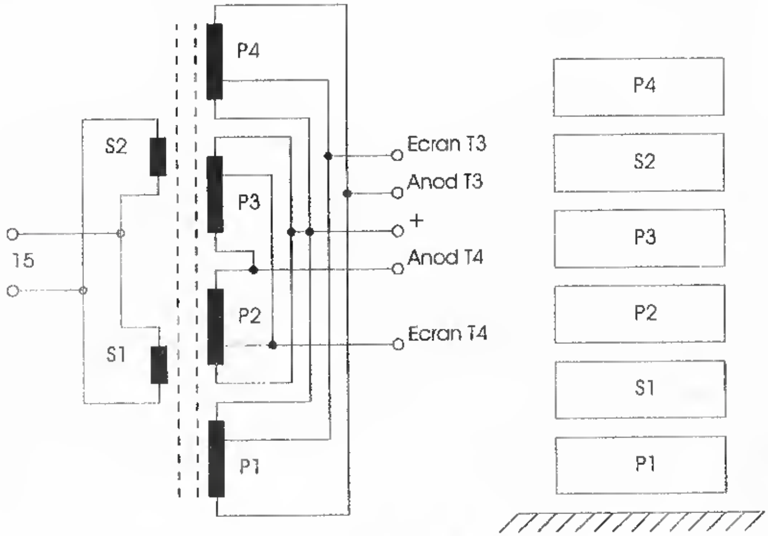


Figura 2.18

2.2. AMPLIFICATOARE AUDIO CU TRANZISTOARE

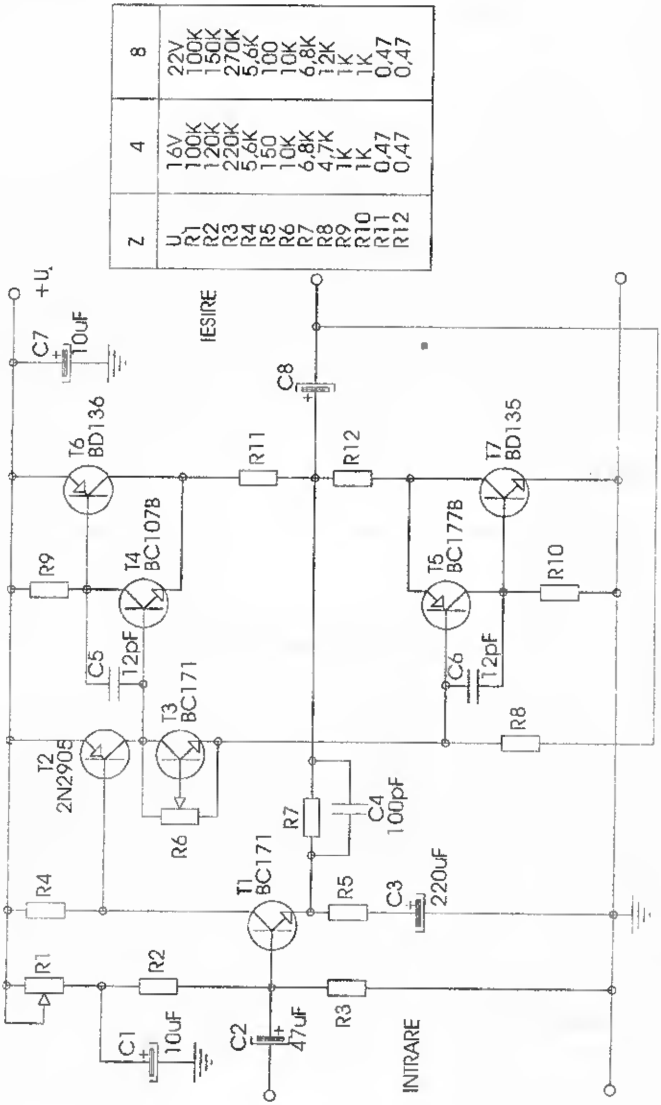
A.A.F. de 5 W

Performanțele AAF de 5 W a cărui schemă electrică este prezentată în **figura 2.19.** sunt următoarele:

$P = 5W$;	$\Delta f = 40$ Hz ÷ 18 kHz;
$Z_i = 85$ kΩ;	S/N > 70 dB;
$Z_e = 4$ Ω (8Ω);	THD < 0,2%;
$U_i = 250$ mV;	TID < 0,1%.

Analizând schema electrică a acestui A.A.F., se observă că semnalul de intrare se aplică, prin intermediul condensatorului C_2, etajului de intrare, care conține tranzistorul T_1. Polarizarea lui este asigurată de divizorul rezistiv format din rezistențele R_2R_3. Din colectorul tranzistorului T_1, semnalul audio amplificat este preluat și transmis galvanic în baza tranzistorului T_2. Acesta îndeplinește în cadrul montajului funcția etajului pilot. Polarizarea etajului final, realizat cu ajutorul dubleților super-G complementari T_4T_6 și T_5T_7, este asigurată de tranzistorul T_3. Acesta, împreună cu potențiometrul semireglabil R_6, îndeplinește în cadrul montajului funcția de sursă de tensiune constantă (de tip superdiodă) destinată polarizării, în clasa de funcționare AB, a etajului final. Rezistențele R_{11} și R_{12} îndeplinesc în cadrul

montajului funcția de reacție negativă locală de curent, asigurând stabilitatea în funcționare a etajului final și totodată prevenind ambalarea lui termică în momentul livrării de lungă durată a puterii nominale.



Z	4	8
U	16V	22V
R1	100K	100K
R2	120K	150K
R3	220K	270K
R4	5,6K	5,6K
R5	150	100
R6	10K	10K
R7	6,8K	6,8K
R8	4,7K	12K
R9	1K	1K
R10	1K	1K
R11	0,47	0,47
R12	0,47	0,47

Figura 2.19

Semnalul de ieșire este transmis, prin intermediul condensatorului C_8, impedanței de sarcină constituită de difuzorul (sau grupul de difuzoare) din incinta acustică.

Amplificarea generală a montajului este reglementată de bucla de reacție negativă în componența căreia intră grupul $R_7C_4R_5$ ($A = 1 + R_7/R_5$). În vederea utilizării unei impedanțe de sarcină de 4 Ω sau 8 Ω, pentru fiecare din aceste

două situații s-au prevăzut modificările ce privesc valorile tensiunii de alimentare a montajului și a unor componente electrice pasive, astfel încât amplificatorul să livreze aceeași putere nominală de 5 W. În **tabelul** alăturat schemei electrice sunt prevăzute datele ce privesc funcționarea montajului în una din situațiile menționate anterior. Montajul se realizează practic pe o plăcută de sticlostratitex placat cu folie de cupru. La realizarea cablajului imprimat se păstrează toate regulile de bază ce privesc realizarea practică a unui amplificator, și anume:

– structura fizică de cuadripol a montajului;
– lipsa buclei de masă;
– trasee cât mai scurte între componente;
– traseu de masă gros de minim 2–5 mm.

După realizarea practică, montajul se alimentează de la o sursă de tensiune stabilizată. Reglajele se fac cu intrarea montajului pusă la masă, având ca impedanță de sarcină o rezistență de putere cu valoarea acesteia (4 Ω sau 8 Ω). Inițial, acționând cursorul potențiometrului semireglabil R_1, în punctul median M, se asigură prezența unei tensiuni având ca valoare jumătate din valoarea tensiunii de alimentare U/2.

Ulterior, acționând cursorul potențiometrului semireglabil R_6 se stabilește valoarea curentului de mers în gol I_0 = 28 mA. După aceste reglaje se întrerupe alimentarea montajului, se înlătură strapul de la intrarea acestuia, iar amplificatorul realizat este gata de funcționare.

A.A.F. de 10 W

Montajul a cărui schemă electrică este prezentată în **figura 2.20.** deține următoarele performanțe:

P = 10 W	Δf = 18 Hz – 20 kHz
Z_i = 82 kΩ	S/N > 65 dB
Z_e = 4 Ω	THD < 0,2%
U_i = 250 mV	TID < 0,1%

Semnalul audio se aplică etajului de intrare care conține tranzistorul T_1, prin intermediul condensatorului C_2. Se observă că acest etaj de intrare este relativ perfecționat, utilizându-se o conexiune de tip bootstrap în vederea măririi impedanței de intrare generale a montajului. Din colectorul lui T_1 semnalul se preia galvanic de către tranzistoarele T_2, T_3 care funcționează în cadrul montajului ca etaj pilot. Amplasarea tranzistoarelor T_2, T_3 într-un montaj de tip Darlington face ca etajul pilot să dețină o amplificare foarte mare, permițând în final amplificatorului funcționarea cu distorsiuni minime. Tranzistorul T_4 realizează o configurație de tip superdiodă, constituind sursa de tensiune continuă necesară polarizării etajului final. În vederea optimizării funcționării etajului pilot s-a prevăzut grupul $R_8R_9C_5$ care constituie o conexiune bootstrap. Etajul final conține tranzistoarele T_5, T_6 și T_7, T_8 amplasate într-o configurație de tip dublet super-G. Pentru a preveni apariția unor oscilații ale amplificatorului, în funcționarea la frecvențe înalte, s-a prevăzut grupul $R_{21}C_7$. Amplificarea generală a montajului este reglementată de grupul $R_{22}C_4R_{13}$ ($A = 1 + R_{22}/R_{13}$) care constituie reacția negativă globală. Tranzistorul T_4 se amplasează fizic pe radiatorul comun al tranzistoarelor T_6 și T_8.

După realizarea practică a montajului, folosind aceleași modalități și precauții ca în cazul anterior (la amplificatorul de 5 W), se efectuează reglajele ce privesc curentul de mers în gol I_0 = 40 mA și tensiunea în punctul median $U_A/2$ = 12 V.

Valoarea curentului de mers în gol se obține acționând cursorul potențiometrului semireglabil R_{11}, iar valoarea tensiunii din punctul median acționând cursorul potențiometrului semireglabil R_2 (a nu se uita straparea intrării montajului înainte de reglaje), folosind o rezistență de sarcină echivalentă 4 Ω/10 W.

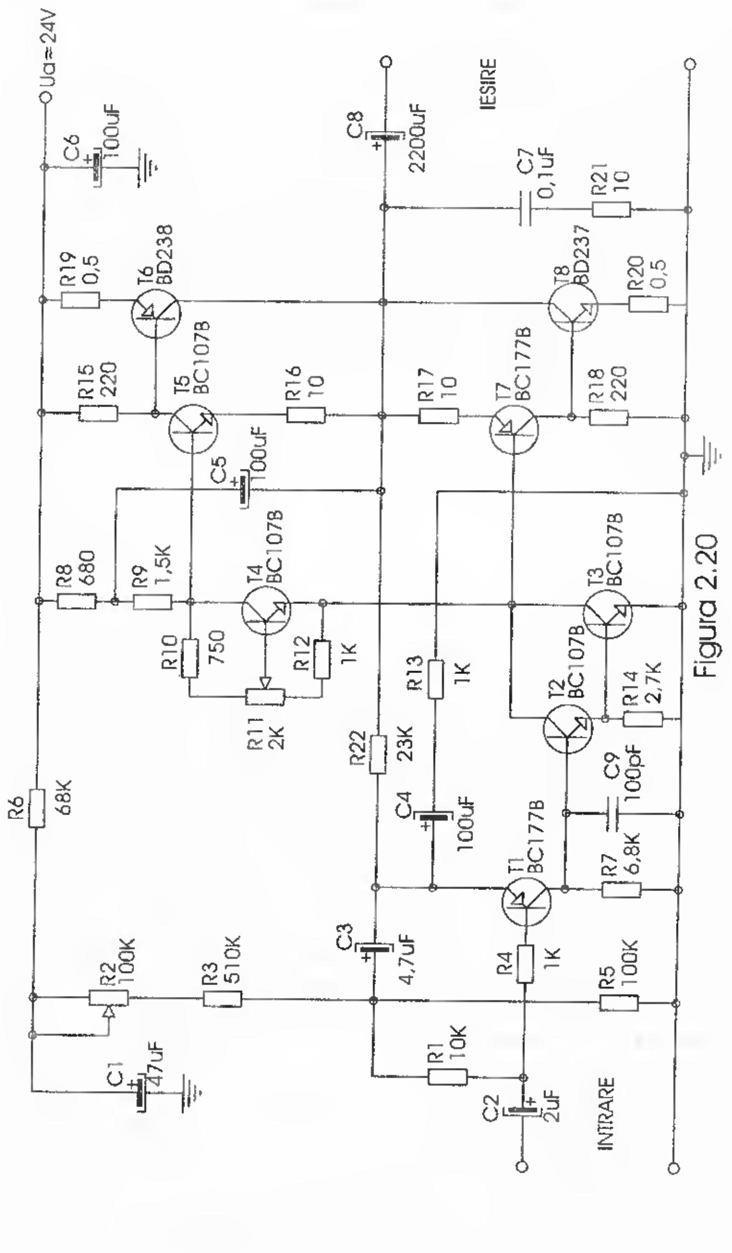


Figura 2.20

Serie de A.A.F. de 10÷50 W

Asimilarea în fabricație de serie autohtonă a tranzistoarelor complementare de tip superbeta face posibilă realizarea unui amplificator de audiofrecvență relativ simplu și totodată cu bune performanțe. În **figurile 2.21÷2.23.** sunt prezentate schemele electrice ale unor amplificatoare pentru care, în funcție de tensiunea de alimentare, se pot obține puteri nominale de ieșire situate între limitele 10 W÷50 W. Față de schemele electrice precedente se observă simplificarea etajului final. Puterea nominală obținută pentru diverse tensiuni de alimentare, alături de performanțele montajului, sunt precizate în **tabelul 3**.

Tabelul 3

Schemă electrică	figura 2.21.					figura 2.22					figura 2.23				
P(w)	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	25	35	50
I_0(mA)	15	20	25	30	40	15	20	25	30	40	20	25	30	35	40
I_N(A)	0,8	1	1,3	1,45	1,6	0,8	1	1,3	1,45	1,6	0,8	1	1,3	1,45	1,6
U_A (V)	24	33	40	45	50	±12	±17	±20	±23	±25	32 (38)	36 (47)	38 (48)	45 (56)	50 (65)
Z_i (kΩ)	100					39					50				
Z_E (Ω)	4					4					4 (8)				
Δf	20 Hz ÷ 30 kHz					18 Hz ÷ 35 kHz					18 Hz ÷ 35 kHz				
S/N	≥ 70 dB					≥ 70 dB					≥ 70				
THD %	≤ 0,4					≤ 0,4					≤ 0,45				
TID	≤ 0,1					≤ 0,1					≤0,15				

La alegerea configurației montajului prezentat în **figura 2.21.** s-a pornit de la considerentul realizării unei scheme electrice flexibile, adaptabilă unor parametri inițiali proprii incintelor acustice împreună cu care amplificatorul urmează a funcționa, și anume puterea și impedanța acestora. Modificând doar câteva valori ale componentelor electrice, tipul lor și valoarea tensiunii de alimentare a montajului, acesta se poate adapta majorității variantelor de incinte acustice destinate unei sonorizări în concordanță cu cerințele HI-FI. În mod practic, această lucrare prezintă de fapt o gamă întreagă de amplificatoare audio, de diferite puteri și cu diverse impedanțe de ieșire.

Analizând schema electrică, se observă că semnalul audio ce urmează a fi amplificat se aplică la intrarea montajului, în baza tranzistorului T_1, prin intermediul condensatorului C_1. Tranzistorul T_1 este amplasat într-o configurație de tip amplificator de tensiune. Totodată el mai deține funcția de a reglementa amplificarea totală în tensiune a montajului, proporțională cu raportul valorilor rezistoarelor R_6 și R_4 ($A = R_6/R_4$).

Polarizarea inițială a tranzistorului T_1 este asigurată de grupul rezistoarelor R_1, R_2 și R_3. Potențiometrul semireglabil R_1 a fost prevăzut în cadrul montajului pentru stabilirea inițială a punctului median al tensiunii de ieșire (terminalul de polaritate pozitivă al condensatorului C_8) la jumătate din valoarea tensiunii de alimentare U_A. Acest lucru este necesar pentru amplificarea simetrică, fără limitări sau distorsiuni, a semnalului audio de intrare.

Din colectorul tranzistorului T_1, semnalul audio amplificat este preluat galvanic și aplicat în baza tranzistorului T_2. El funcționează în cadrul amplificatorului ca etaj

pilot, asigurând amplificarea totală în tensiune a semnalului de intrare. Amplificarea totală în tensiune a montajului este reglementată de bucla de reacție negativă globală formată din grupul R_6 R_4 C_3. Sarcina în curent alternativ a tranzistorului T_2 este formată dintr-un generator de curent constant, realizat cu ajutorul tranzistorului T_4 și al componentelor aferente (R_7 D_1 D_2 R_{11}). Această configurație a schemei electrice a fost prevăzută luându-se în considerare faptul că un generator de curent constant reprezintă practic o rezistență de valoare foarte mare în curent alternativ și mică în curent continuu. Ca urmare a acestor proprietăți funcționale se poate obține practic o amplificare foarte mare în tensiune a etajului pilot, într-o bandă de frecvență ce acoperă banda audio. Totodată factorul THD propriu celor două etaje de amplificare care conțin tranzistoarele T_1 și T_2 este foarte redus, datorită amplificării globale constante în tensiune, reglementată de bucla de reacție negativă menționată anterior.

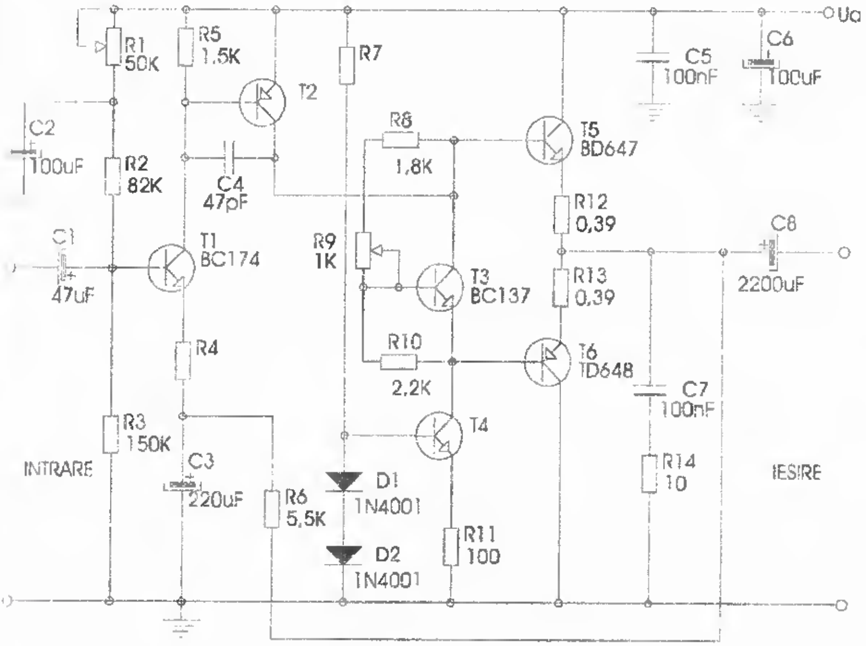


Figura 2.21

Un ultim avantaj al utilizării generatorului de curent constant este posibilitatea livrării de către acesta a curentului necesar comandării etajului final, indiferent de încărcarea lui, fără a distorsiona forma de undă a semnalului audio amplificat. Etajul final al amplificatorului, care asigură amplificarea în curent (deci practic în putere) a semnalului audio preluat din etajul pilot, este format din tranzistoarele T_5 și T_6. Se observă că este vorba de un etaj final de tipul celor în contratimp, realizat cu tranzistoare complementare superbeta. Este asigurată în acest mod o amplificare în curent suficientă pentru a obține la ieșirea montajului puterea de ieșire la care amplificatorul a fost dimensionat. Rezistențele R_{12} și R_{13} amplasate în emitoarele tranzistoarelor T_5 și T_6 reprezintă reacții negative locale de curent. Prezența lor determină un plus de stabilitate montajului în funcționare, alături de o măsură eficientă inițială luată împotriva unei posibile ambalări termice a etajului final.

Polarizarea lui este asigurată de tranzistorul T_3, care împreună cu componentele aferente (R_8, R_9 și R_{10}) formează o sursă de tensiune constantă de tip superdiodă. Reglajul tensiunii necesare polarizării etajului final, deci practic reglajul curentului de mers în gol I_0 al acestuia, se face prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_9. Acest reglaj implică funcționarea amplificatorului în clasa AB. Grupul C_7R_{14} amplasat la ieșirea montajului reprezintă un filtru BUCHEROT. El previne posibilitatea de apariție a unor oscilații de înaltă frecvență ultrasonore, mai ales în momentul regimurilor tranzitorii de funcționare sau al regimurilor de suprasarcină de scurtă durată proprii utilizării amplificatorului.

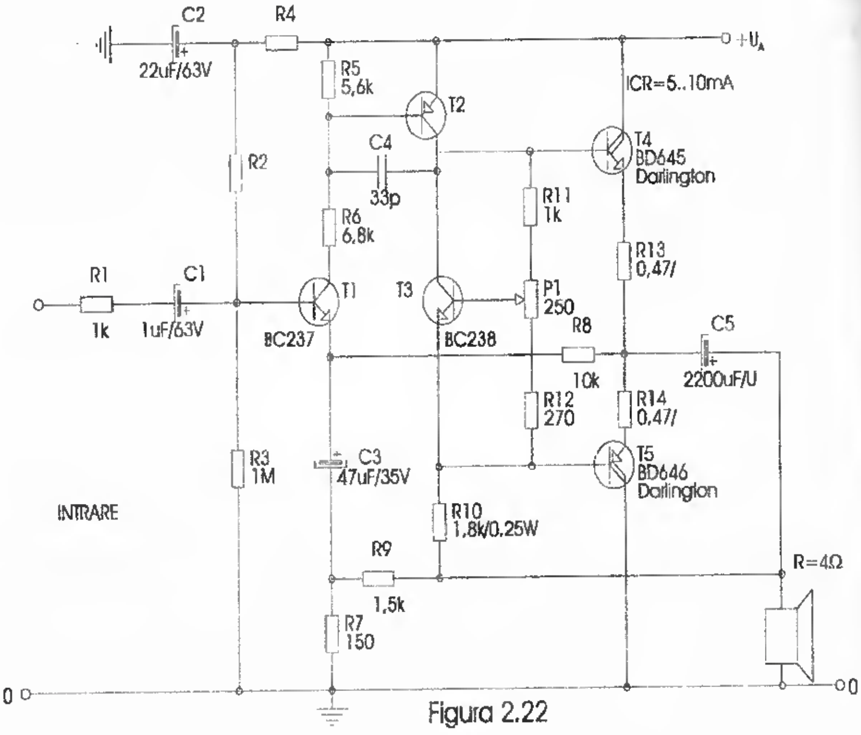
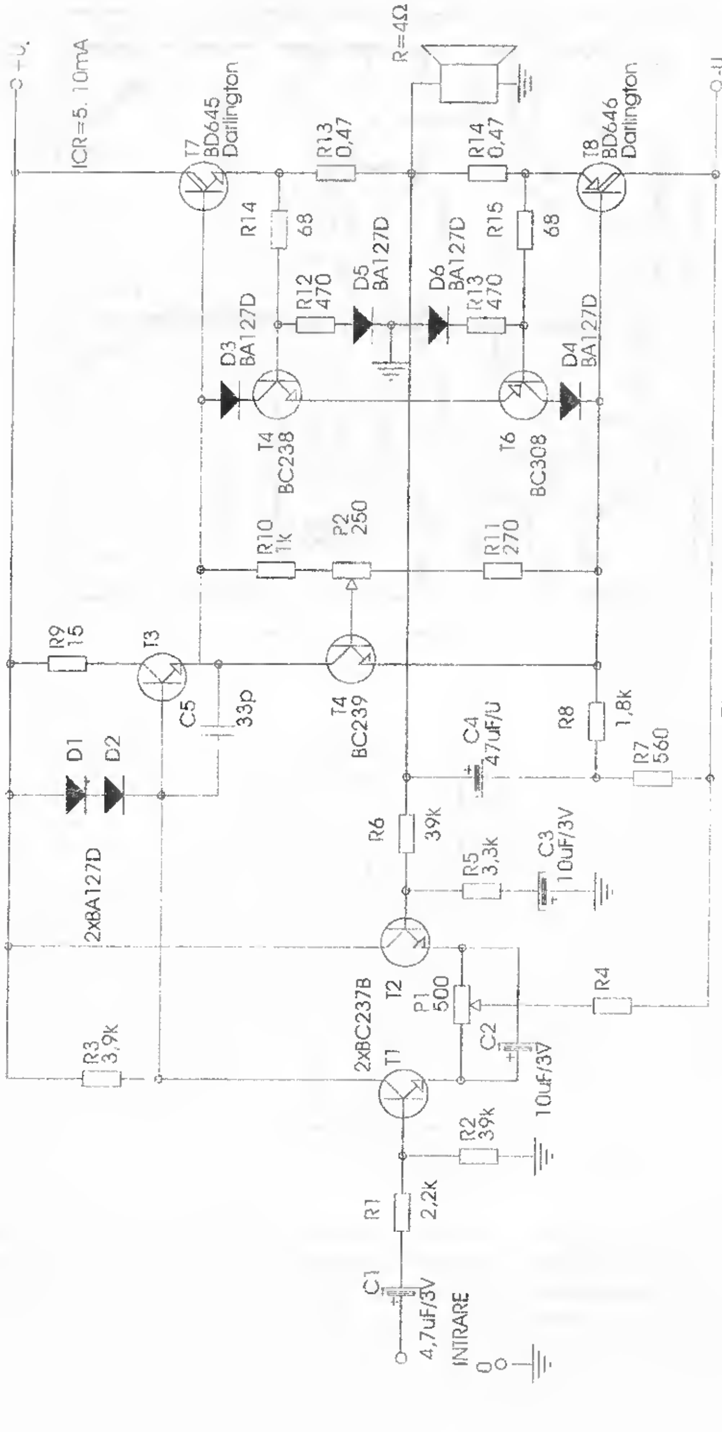


Figura 2.22

Semnalul audio amplificat în putere (deci în tensiune și curent) se transmite la ieșirea montajului prin intermediul condensatorului C_8. Grupul de condensatoare C_5 și C_6 reprezintă un filtraj suplimentar al tensiunii continue de alimentare, împotriva unor semnale parazite de radiofrecvență ce s-ar putea prelua în diverse moduri (de la redresor, prin inducție etc). Măsura aceasta sporește stabilitatea în funcționare a amplificatorului. Montajul se realizează practic pe o plăcuță de sticlostratitex placat cu o folie de cupru. În **figura 2.24.** este prezentată o variantă de cablaj imprimat pentru un amplificator stereo (audiția HI-FI implică obligatoriu prezența fizică a acestuia). În **figura 2.25.** este prezentată plăcuța de cablaj imprimat pentru montajul superdiodă, care conține elementele T_3, R_9, R_8 și R_{10}. Se precizează faptul că ambelor cablaje, în funcție de gabaritul componentelor electrice utilizate de constructor (de cea mai bună calitate), li se pot aduce mici modificări.



INTRARE
C1 4,7uF/3V
R1 2,2k
R2 39k
T1 T2 2xBC237B
C2 10uF/3V
P1 500
R4
R3 3,9k
2xBA127D
D1 D2
R5 3,3k
C3 10uF/3V
R6 39k
C4 47uF/U
R7 560
R8 1,8k
T4 BC239
C5 33p
T3
R9 15
R10 1k
P2 250
R11 270
T4 BC238
T6 BC308
D3 BA127D
D4 BA127D
R12 470
D5 BA127D
D6 BA127D
R13 470
R14 68
R15 68
R13 0,47
R14 0,47
T7 BD645 Darlington
T8 BD646 Darlington
ICR=5..10mA
R=4Ω
-U
-U

Figura 2.23

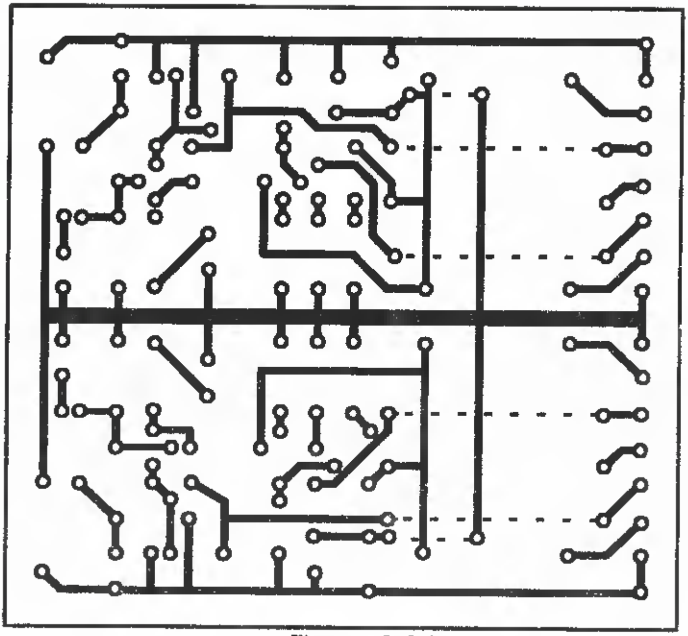


Figura 2.24

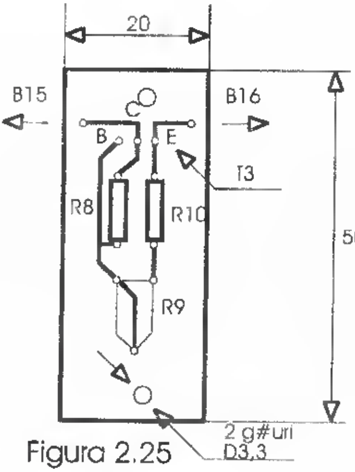


Figura 2.25

În mod obligatoriu însă, este indicată păstrarea configurației inițiale de bază. Dacă, în funcție de puterea de lucru nominală P_N aleasă pentru amplificator (vezi **tabelul 3**), tranzistoarele T_2 și T_4 sunt de tipul BD, la varianta de cablaj prezentată se aduc modificările necesare pentru ca terminalele tranzistoarelor să permită un cuplaj comod și util cu traseele cablajului. Tot în acest caz, tranzistoarele de tip BD vor fi prevăzute cu mici radiatoare din tablă de aluminiu îndoită la profil U (gros de circa 1,5–2,5 mm). Suprafața minimă a profilului este de 4 cm².

Se recomandă verificarea fiecărei componente electrice (electric și mecanic) înainte de plantarea pe plăcuțele de cablaj imprimat. Ordinea optimă de realizare practică a montajului este următoarea:

- realizarea plăcuțelor de cablaj imprimat (una pentru placa de bază și două pentru superdiode);
- realizarea ștrapurilor (figurate pe cablaj cu linie întreruptă) folosind conductori izolat din cupru cu diametrul util de 1 mm;
- plantarea coselor de intrare, ieșire și a celor destinate conexiunilor;
- plantarea componentelor.

Modul de amplasare a componentelor este prezentat în **figura 2.26**.

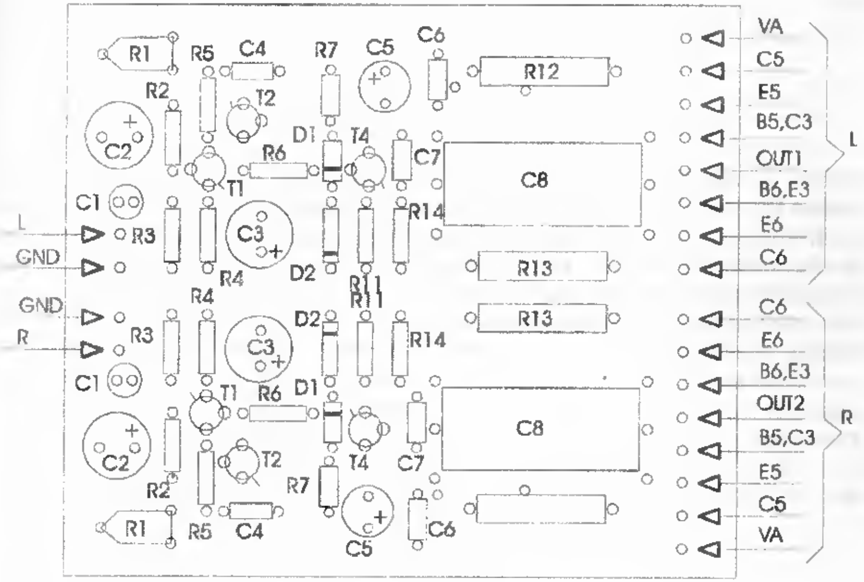


Figura 2.26

După ce s-au plantat toate componentele electrice (evident, sudurile trebuie să fie de cea mai bună calitate) ansamblele se reverifică, deoarece orice greșeală duce la cel puțin nefuncționarea montajului. Tranzistoarele T_5, T_3 și T_6 se montează pe un radiator comun, de tipul celor din aluminiu cu aripioare. Dată fiind gama de puteri precizate inițial, radiatorul pentru amplificatorul de putere aleasă se dimensionează astfel încât să poată disipa o putere P_D mai mare de 40% din puterea nominală P_N. Modul de amplasare a tranzistoarelor T_5 și T_6 pe radiator, împreună cu plăcuța superdiodei (care conține tranzistorul T_3), este prezentat în **figura 2.27**. Tranzistoarele se izolează galvanic, de radiator folosind în acest scop folie de mică de grosime 0,2–0,3 mm, umectată cu vaselină siliconică. Se recomandă fixarea mecanică a tranzistoarelor de radiator (șuruburi M_3, piulițe M_3, șaibe plate A_3 și elastice G_3 etc.) și apoi fixarea mecanică a plăcuței superdiodei, după care se fac sudurile la terminalele tranzistorului T_3. Găurile de trecere ale șuruburilor ce traversează radiatorul și concomitent rigidizează mecanic tranzistoarele sunt prevăzute cu tuburi izolante și șaibă izolantă în locul unde se montează piulițele M_3.

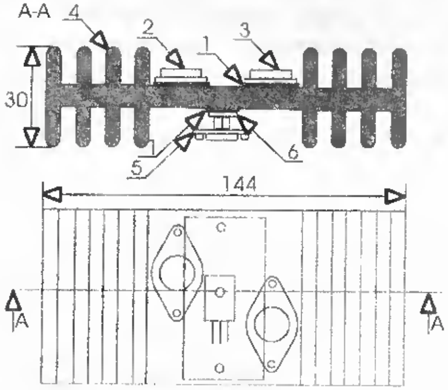
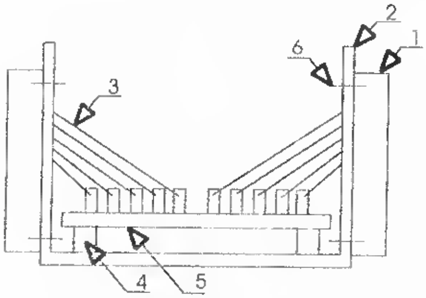


Figura 2.27

După montarea tranzistoarelor pe radiator se reverifică izolația galvanică față de acesta (cu ohmetrul pe scara mega ohmilor). Se recomandă amplasarea montajului pe un șasiu, conform variantei prezentate în **figura 2.28.** Placa principală de cablaj se depărtează de interiorul profilului (unde a fost amplasată), folosind pentru acest lucru un distanțier dintr-un material izolant (pertinax, textolit etc.) La toate ansamblările mecanice se recomandă folosirea șuruburilor și a piulițelor tip M3. După realizarea fizică a montajului (cu toate legăturile galvanice făcute) se trece la verificările și reglajele electrice ale acestuia. Se ștrapează inițial intrările celor două amplificatoare și ulterior se reglează fiecare secțiune a celor două canale informaționale L și R. Reglajul electric constă în stabilirea valorii curentului de mers în gol I_0 și reglajul valorii tensiunii din punctul median (U_E = Ua/2). Se amplasează la ieșirea amplificatorului o rezistență de sarcină de circa 100 Ω/5 W.



1 - Radiator aluminiu
2 - Profil tabla aluminiu
3 - Conductoare
4 - Distantier
5 - Placa cablaj
6 - Suruburi prindere

Figura 2.28

Montajul se alimentează de la o sursă de energie electrică ce prezintă o tensiune continuă stabilizată, dotată cu un filtraj corespunzător (C_F = 2200–4700 μF).

Prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_9 se stabilește valoarea curentului de mers în gol I_0 = 50 mA. Tensiunea din punctul median se reglează acționând cursorul potențiometrului semireglabil R_1. După acest lucru se reverifică valoarea curentului de mers în gol, și dacă este necesar se reajustează până la valoarea menționată anterior. După aceste reglaje proprii ambelor secțiuni ale amplificatorului stereo se trece la verificarea lui dinamică. Pentru acest lucru se folosește inițial un generator de audiofrecvență GAF și un osciloscop. Se aplică la intrarea amplificatorului un semnal electric sinusoidal 100 mV, 1 kHz. La ieșirea amplificatorului se amplasează o rezistență de circa 560 Ω/5 W. Cu ajutorul osciloscopului se vizualizează forma de undă a semnalului amplificat, care trebuie să fie perfect sinusoidală. Se mărește amplitudinea semnalului de intrare, până când sinusoida vizualizată pe ecranul osciloscopului va fi limitată în mod simetric. În cazul nesimetriei, se poate face o mică ajustare a tensiunii din punctul median, până când limitarea vizualizată pe ecranul osciloscopului va fi perfect simetrică.

Verificările și reglajele menționate anterior se fac pentru ambele canale informaționale L, R ale amplificatorului stereo. În urma reglajelor menționate anterior amplificatorul este gata de lucru (evident împreună cu incintele acustice). Se recomandă amplasarea, pe fiecare traseu de alimentare cu energie electrică a amplificatorului, a unor siguranțe fuzibile, dimensionate în concordanță cu puterea nominală livrată. Menționăm că pentru păstrarea performanțelor amplificatorului (referitor la puterea livrată în domeniul frecvențelor joase), redresorul de la care se alimentează amplificatorul trebuie să fie capabil de a livra, pe fiecare secțiune a acestuia, o putere $P_R \geq 1{,}5\ P_N$. În **tabelul 4**, în funcție de puterea nominală și impedanța de sarcină a amplificatorului, sunt prezentate o serie de completări în privința caracteristicilor componentelor schemei electrice de bază a amplificatorului.

Tabelul 4

P (W)	15		20		25		35		50	
Z_E (Ω)	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8
V_A (V)	32	38	36	47	38	48	45	56	50	65
R_9 (Ω)	620	510	560	470	560	390	470	330	390	270
R_7 (kΩ)	30	36	36	43	36	47	43	47	47	62
T_2	2N2905		2N2904A		2N2904A		BD 13		BD 138	
T_4	2N1711		2N1711		2N1711A		BD 139		BD 138	

O altă variantă de amplificator audio de putere este prezentată în **figura 2.22**. Față de schema electrică prezentată anterior, modificările constau în valorile rezistențelor destinate polarizării etajului de intrare ce conține tranzistorul T_1, și tipul dubleților superbeta de ieșire. În rest modul de funcționare, realizarea practică și reglajele amplificatorului se efectuează la fel ca la montajul prezentat anterior.

În **figura 2.23.** este prezentată o altă variantă de amplificator audio de putere, cu tranzistoare superbeta. Se observă că față de schemele de amplificator electrice prezentate anterior, gradul de complexitate al acesteia s-a mărit. Etajul de intrare este realizat în această situație cu tranzistoarele T_1 și T_2, amplasate într-o configurație de amplificator diferențial. Acest gen de amplasament sporește calitățile montajului în ceea ce privește stabilitatea termică, liniaritatea caracteristicilor de transfer și procentajul (foarte redus) de distorsiuni THD și TID. Montajul este concomitent dotat

cu un bloc de protecție la supracurent de tip CLIPPING (limitare de curent), realizat cu ajutorul tranzistoarelor T_5, T_6 și al componentelor electrice aferente. În momentul depășirii cu 1,25% a valorii puterii nominale, tensiunea de la bornele rezistențelor R_{16} și R_{17} determină intrarea în starea de conducție a tranzistoarelor T_5 și T_6. Acest lucru implică micșorarea curentului din bazele tranzistoarelor T_7 și T_8, determinând în final limitarea curentului livrat de amplificator impedanței de sarcină (difuzorul sau difuzoarele din incinta acustică). Se mai observă că alimentarea cu tensiune a montajului este de tipul sursă dublă de tensiune. Reglajele montajului constau în asigurarea în punctul median (ieșire) a unui potențial electric de zero volți, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil P_1. Ulterior se reglează valoarea curentului de mers în gol (precizată în **tabelul 3** pentru fiecare variantă de amplificator) prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil P_2.

A.A.F. de 15 W

Performanțele montajului a cărui schemă electrică este prezentată în **figura 2.29.** sunt următoarele:

$P = 15$ W;
$Z_i = 400$ kΩ;
$Z_e = 4$ Ω (8 Ω);
$\Delta f = 20$ Hz ÷ 18 kHz;
$U_A = 30$ V (38 V);
$U_i = 250$ mV;
S/N > 70 dB;
THD < 0,1%;
TID < 0,04%;

O dată cu creșterea puterii nominale livrate de un amplificator de audiofrecvență de putere, pentru obținerea unor performanțe bune schema electrică își va spori gradul de complexitate. Este prezentată schema electrică a unui amplificator de 15 W la care, modificând valoarea tensiunii de alimentare și valorile unor componente, există posibilitatea livrării aceleiași valori a puterii nominale impedanței de sarcină de 4 Ω sau de 8 Ω. Valorile din paranteză ale componentelor schemei electrice sunt date pentru varianta $Z_e = 8$ Ω. Valoarea tensiunii din punctul mediu se stabilește prin modificarea cu +15% a valorii rezistenței R_3. Valoarea curentului de mers în gol $I_0 = 30$ mA se stabilește acționând potențiometrul semireglabilului R_{14}. Construcția și reglajele se efectuează la fel ca la amplificatoarele prezentate anterior.

A.A.F. de 18 W

Montajul prezintă următoarele performanțe:

$P = 18$ W;
$Z_i = 100$ kΩ;
$Z_e = 4$ Ω;
$\Delta f = 25$ Hz ÷ 18 kHz;
$U_a = 30$ V;
$U_i = 250$ mV;
S/N > 70 dB;
THD < 0,15%;
TID < 0,03%.

Analizând schema electrică prezentată în **figura 2.30.** se observă că etajul de intrare este de tipul amplificatoarelor diferențiale de tensiune, conținând tranzistoarele T_1 și T_2. Se observă configurația mai deosebită a buclelor de reacție. Astfel, în baza tranzistorului T_2 se aplică reacția negativă globală, formată din

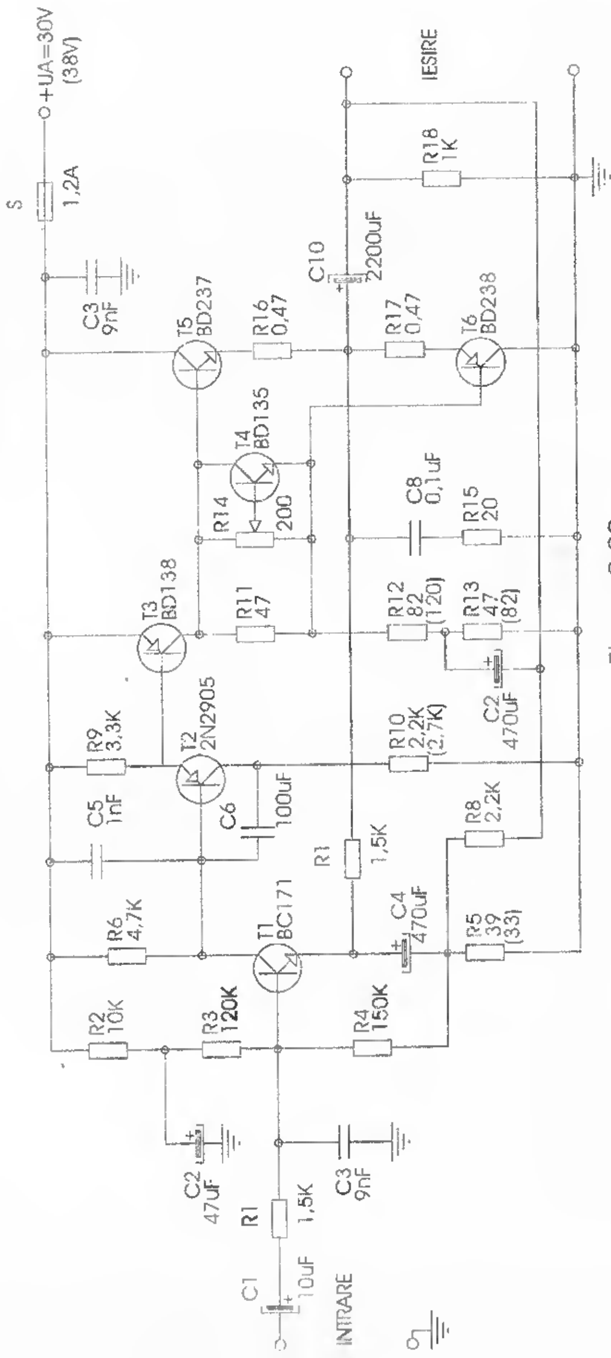

+UA=30V
(38V)
S
1,2A
IESIRE
R18
1K
C10
2200uF
C3
9nF
T5
BD237
R16
0,47
R17
0,47
T6
BD238
T4
BD135
R14
200
C8
0,1uF
R15
20
T3
BD138
R11
47
R12
82
(120)
R13
47
(82)
R9
3,3K
T2
2N2905
R10
2,2K
(2,7K)
C2
470uF
C5
1nF
C6
100uF
R1
1,5K
R8
2,2K
R6
4,7K
T1
BC171
C4
470uF
R5
39
(33)
R2
10K
R3
120K
R4
150K
C2
47uF
R1
1,5K
C3
9nF
C1
10uF
INTRARE

Figura 2.29

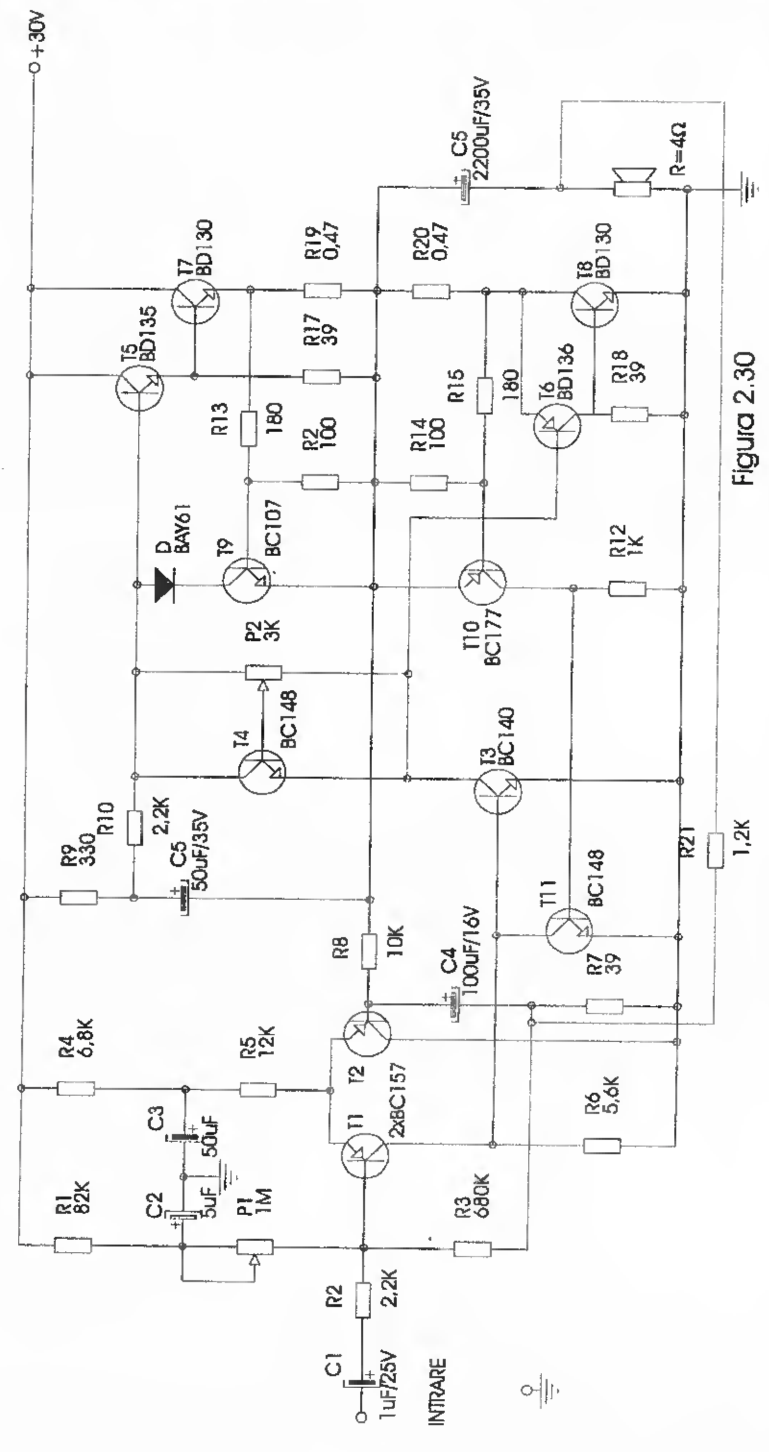

+30V
C5
2200uF/35V
R=4Ω
T7
BD130
R19
0,47
R20
0,47
T8
BD130
T5
BD135
R17
39
R15
180
T6
BD136
R18
39
R13
180
R2
100
R14
100
D
BAY61
T9
BC107
R12
1K
P2
3K
T10
BC177
T4
BC148
T3
BC140
R9
330
R10
2,2K
C5
50uF/35V
R21
1,2K
T11
BC148
R8
10K
C4
100uF/16V
R7
39
R4
6,8K
R5
12K
T2
T1
2xBC157
R6
5,6K
C3
50uF
R1
82K
C2
5uF
P1
1M
R3
680K
R2
2,2K
C1
1uF/25V
INTRARE

Figura 2.30

Această configurație a schemei electrice permite un control strict al livrării de putere impedanței de sarcină, îmbunătățind fundamental caracteristica de transfer tensiune-putere a amplificatorului.

Grupul $R_9C_5R_{10}$ reprezintă o conexiune Bootstrap, care îmbunătățește foarte mult funcționarea etajului pilot (realizat cu ajutorul tranzistorului T3) în ceea ce privește liniaritatea caracteristicilor de transfer și totodată procentul minim de distorsiuni de tip THD și TID. Protecția la suprasarcină este de tipul combinat, și anume cu limitare curent-tensiune. Atunci când apare regimul de suprasarcină ($P > 1{,}25\ P_N$) căderea de tensiune de la bornele rezistențelor R_{19} și R_{20} determină intrarea în stare de conducție a tranzistoarelor T_9, T_{10} și T_{11}. Acest lucru determină blocarea dubleților de tranzistoare T_5T_7 și T_6T_8 și totodată blocarea etajului pilot (baza acestuia este „pusă" la masa montajului de tranzistorul T_{11}). Acest gen de protecție combinată este foarte eficient, asigurând în final protecția amplificatorului, atât în regimul de suprasarcină, cât și la suprasarcini tranzitorii (amplitudine mare de scurtă durată), ceea ce dă o fiabilitate sporită montajului.

AMPLIFICATOR HI-FI DE 20 W

Orice aparat electroacustic are în componența sa un amplificator de audiofrecvență de putere, în scopul redării cât mai fidele a informației conținute de un program muzical sonor. De performanțele amplificatorului de putere, în ceea ce privește puterea transmisă incintelor acustice, banda de frecvență de lucru și raportul semnal-zgomot, depinde calitatea finală obținută în momentul audiției. Din categoria amplificatoarelor performante face parte și amplificatorul audio HI-FI prezentat în **figura 2.31**. El deține următoarele performanțe:

- puterea nominală sinusoidală $P_N = 20$ W;
- impedanța de intrare $Z_i = 250$ kΩ;
- impedanța de ieșire $Z_e = 4$ Ω;
- tensiunea de intrare $U_i = 300$ mV;
- banda de frecvență $\Delta f = 15$ Hz ÷ 22 kHz;
- atenuarea la capetele benzii de frecvență $A = -1$ dB;
- raportul semnal-zgomot $S/N \geq 75$ dB;
- tensiunea de alimentare $U_a = \pm 22$ V;
- distorsiuni armonice totale THD ≤ 0,15%;
- distorsiuni de intermodulație TID ≤ 0,06%.

Semnalul audio de intrare se aplică etajului de intrare care conține tranzistoarele T_1 și T_2. Se observă că acesta reprezintă un amplificator diferențial, astfel realizat încât să permită amplificarea în tensiune, cu un procent minim de distorsiuni, a semnalului de intrare. Semnalul audio amplificat este preluat din colectorul tranzistorului T_1 și aplicat în baza tranzistorului T_4. Acesta este amplasat în cadrul montajului pentru a îndeplini funcția etajului pilot.

El este prevăzut pentru a funcționa cu amplificare foarte mare, în scopul optimizării caracteristicilor de transfer finale ale amplificatorului, asigurând excursia maximă în tensiune a semnalului util amplificat. În scopul îmbunătățirii performanțelor etajului pilot, acesta a fost prevăzut cu o conexiune BOOTSTRAP, realizată de grupul $R_9C_8R_{10}$. În acest fel se îmbunătățește substanțial liniaritatea caracteristicii de transfer proprie etajului pilot. Pentru evitarea apariției unor oscilații nedorite, mai ales în cazul unor regimuri tranzitorii de funcționare, etajul pilot a fost prevăzut cu condensatoarele C_6, C_7 și grupul $C_{10}R_{14}$. Condensatoarele C_6, C_7 realizează o reacție negativă locală, puternică, în banda frecvențelor înalte, care depășesc limita

superioară a benzii de audiofrecvenţă. Grupul $R_{14}C_{10}$ reprezintă un filtru trece-jos care limitează amplificarea semnalelor de frecvenţă ultrasonoră ce ar putea ajunge accidental la etajul pilot.

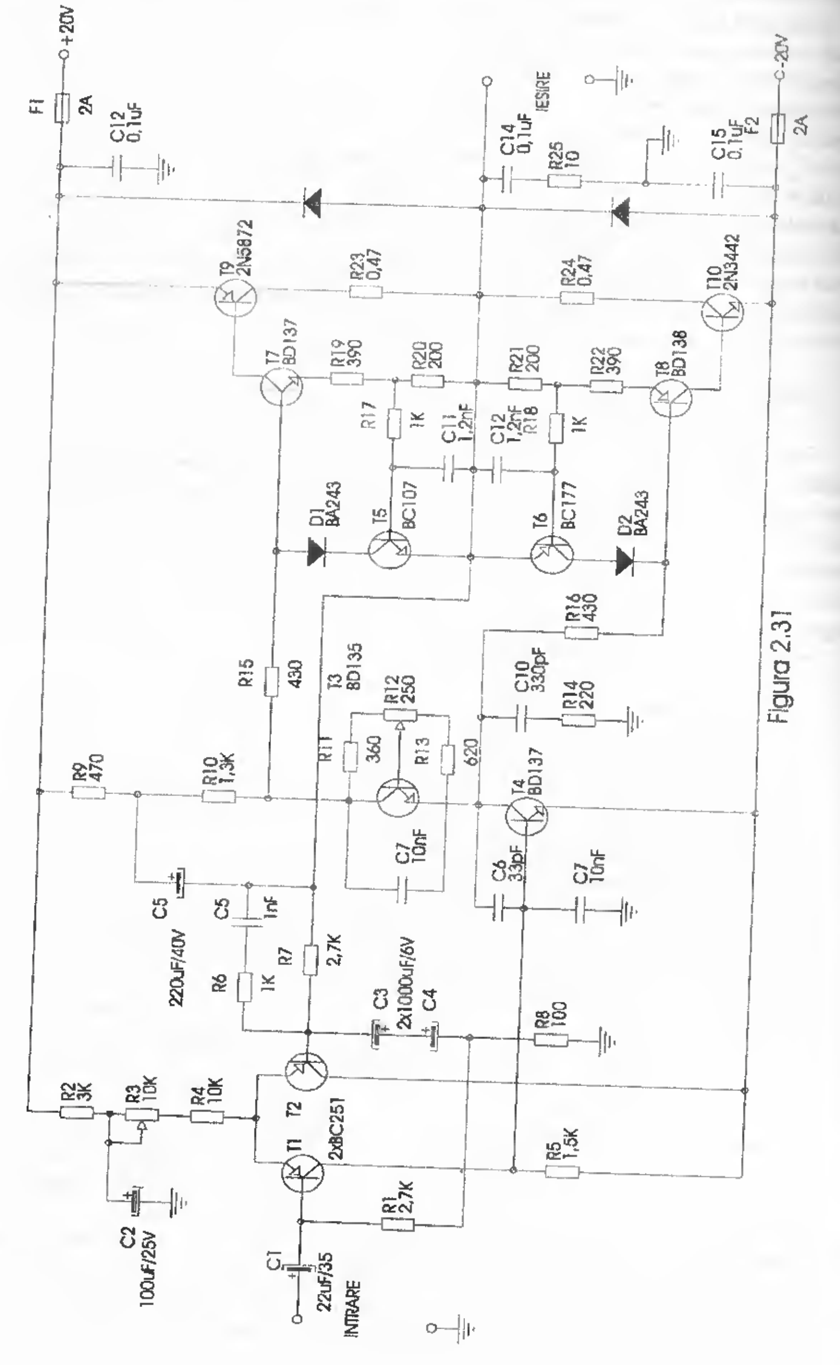


Figura 2.31

Polarizarea etajului final al amplificatorului de audiofrecvență se realizează de către o sursă de tensiune constantă de tip super-diodă, în componența căreia intră tranzistorul T_3. Pentru reglajul valorii tensiunii sursei de tensiune constante, în vederea stabilirii precise a curentului de mers în gol propriu amplificatorului situat în clasa de funcționare AB, a fost prevăzut potențiometrul semireglabil R_{12}. De la etajul pilot semnalul util amplificat se aplică etajului final al amplificatorului de audiofrecvență, prin intermediul rezistențelor R_{15} și R_{16}. Acesta este de tip repetor pe emitor, cu o configurație electrică astfel aleasă încât să permită amplificarea în curent, deci practic în putere a semnalului audio util. Etajul final conține două tranzistoare prefinale și două tranzistoare finale, amplasate fiecare dintre ele într-o conexiune de tip Super-G. În acest fel se realizează practic două tranzistoare echivalente complementare. Rezistențele R_{23} și R_{24} amplasate la ieșirea etajului final (în colectoarele tranzistoarelor T_7 și T_8) realizează o reacție negativă locală, necesară bunei funcționări a etajului final, atât din punct de vedere al performanțelor electrice cât și al stabilității termice într-un domeniu întins de temperaturi.

Grupul $C_{14}R_{25}$ reprezintă un filtru trece-jos care limitează amplificarea semnalelor de frecvență ultrasonoră ce ar putea ajunge accidental la etajul pilot, și totodată elimină posibilitățile de oscilație a etajului final. De la ieșirea etajului final semnalul amplificat atât în tensiune cât și în curent (deci, amplificat în putere) este livrat la ieșirea montajului. Amplificarea generală a montajului este reglementată de raportul rezistențelor R_7/R_8.

Grupul R_6C_5 amplasat în paralel cu rezistența R_7 limitează, de asemenea, amplificarea generală a montajului în domeniul frecvențelor ultrasonore și concomitent previne posibilitățile de oscilație a acestuia, realizând o stabilitate înaltă de funcționare în banda de audiofrecvență.

Montajul este prevăzut cu protecții la supracurent, supratensiune și scurtcircuit accidental provocat de defectarea unui tranzistor din etajul final. Protecția generală este realizată de siguranțele fuzibile F_1 și F_2 amplasate pe cele două ramuri de alimentare cu energie electrică (pozitivă și negativă) ale amplificatorului. Apariția unei tensiuni inverse din cauza defectării unui tranzistor din etajul final este realizată de diodele D_3 și D_4. În momentul apariției unei tensiuni inverse pe una dintre cele două ramuri, aceasta este limitată de una dintre diode (D_3 sau D_4), care intră în starea de conducție la depășirea pragului de 0,6 V și, dacă defectul persistă, duce la acționarea protecției realizate de una dintre siguranțele fuzibile F_1 sau F_2 (la arderea acesteia din cauza supracurentului apărut). Protecția la suprasarcină este realizată electronic. În momentul apariției unui regim accidental sau permanent de suprasarcină, grupul de tranzistoare din etajul final livrează, pentru o perioadă de timp foarte scurtă un curent mai mare decât cel nominal, grupului de difuzoare din incinta acustică.

Acest supracurent determină o cădere de tensiune importantă la bornele rezistențelor R_{23} și R_{24}.

O fracțiune din această tensiune (circa 0,7 V) este aplicată prin intermediul rezistențelor R_{17} și R_{18} în baza tranzistoarelor T_5 și T_6, determinând intrarea lor în stare de conducție. Acest lucru implică derivarea curentului din bazele celor doi dubleți proprii etajului final, blocarea acestuia și în acest fel limitarea curentului etajului final livrat sarcinii, indiferent de amplitudinea semnalului electric furnizat de către etajul pilot. Grupurile $R_{17}C_{11}$ și $R_{18}C_{12}$ realizează o constantă de timp convenabil aleasă pentru ca protecția electronică să nu intre în funcționare în regimurile tranzitorii, evitându-se în acest fel limitarea semnalului de audiofrecvență util amplificat (clipping). Diodele D_1 și D_2, amplasate în colectoarele tranzistoarelor T_5 și T_6, au

fost prevăzute în scopul evitării apariției unei tensiuni inverse la fiecare dintre cele două baze proprii dubleților complementari, aflați în componența etajului final al amplificatorului.

Realizare practică și reglaje

Montajul se realizează practic pe o plăcuță de sticlostratitex, placat cu folie de cupru, în varianta mono sau stereo. La realizarea cablajului imprimat se vor lua toate măsurile de optimizare în vederea obținerii unui montaj calitativ, compatibil cu cerințele de funcționare în domeniul audiofrecvenței. Traseul de masă va avea o grosime minimă de 4 mm, evitându-se cu strictețe realizarea buclei de masă. Montajul va avea o structură fizică de cuadripol, având grijă ca fiecare etaj funcțional să aibă masa proprie conectată cât mai aproape (referitor la elementele componente conectate la masă). Se vor folosi componente electrice de cea mai bună calitate, care au fost testate inițial. Tranzistoarele T_1 și T_2 vor avea același factor de amplificare în curent ($h_{21E} \geq 300$). Tranzistorul T_4 va avea un factor de amplificare în curent $h_{21E} \geq 150$, tranzistoarele T_5 și T_6 vor avea același factor de amplificare în curent, lucru valabil și pentru dubleții T_7, T_8 și T_9, T_{10}. După realizarea practică a cablajului imprimat, componentele electrice se plantează cu toată grija, evitându-se aplicarea unor șocuri termice prin menținerea unei perioade de timp prea mari a vârfului ciocanului de lipit în contact cu terminalele componentelor care se sudează. Sursa de tensiune de tip superdiodă, împreună cu componentele aferente ($R_{11}R_{12}R_{13}C_9$), se vor monta separat pe o altă mică plăcuță de cablaj imprimat. Tranzistorul T_3 se amplasează pe același radiator cu cel al tranzistoarelor finale T_9 și T_{10}. Radiatorul lor se confecționează din tablă de aluminiu având grosimea de 2 mm, cu o suprafață suficient de mare pentru asigurarea răşinii necesare în momentul când amplificatorul debitează puterea maximă. ($P_{disipată\ maximă} = 8$ W). O soluție elegantă și eficientă o reprezintă folosirea ca radiator a unui profil de aluminiu cu mai multe lamele, amplasat fizic vertical, astfel încât ventilația radiatorului să fie optimă, în scopul asigurării răcirii necesare. Pentru izolarea galvanică a tranzistoarelor finale T_9 și T_{10} și a tranzistorului T_3 propriu sursei de tensiune constantă, se vor folosi plăcuțe de mică de grosime 0,4 mm. Amplasarea radiatorului propriu etajului final se realizează astfel încât să fie posibilă ventilația lui naturală eficientă. În acest scop se vor practica, în incinta aparatului electroacustic unde se amplasează amplificatorul, o serie de găuri de răcire (în șasiul metalic, dedesubtul radiatorului și deasupra lui, sau eventual într-o poziție laterală avantajoasă). Se recomandă ca siguranțele fuzibile F_1 și F_2 să se amplaseze tot pe plăcuța de cablaj imprimat a amplificatorului, folosind suporți procurabili din comerț specializați pentru acest lucru. Tranzistoarele prefinale T_7 și T_8 vor fi de asemenea dotate cu radiatoare (profile de forma U din tablă de aluminiu groasă de 1 mm, cu o suprafață minimă de circa. 6 cm²).

După realizarea montajului se verifică încă o dată corectitudinea amplasamentului componentelor electrice și a legăturilor galvanice (polaritățile condensatoarelor electrolitice, valorile fiecărei componente, în special ale rezistoarelor etc.), deoarece orice greșeală duce la cel puțin nefuncționarea montajului la parametrii estimați inițial.

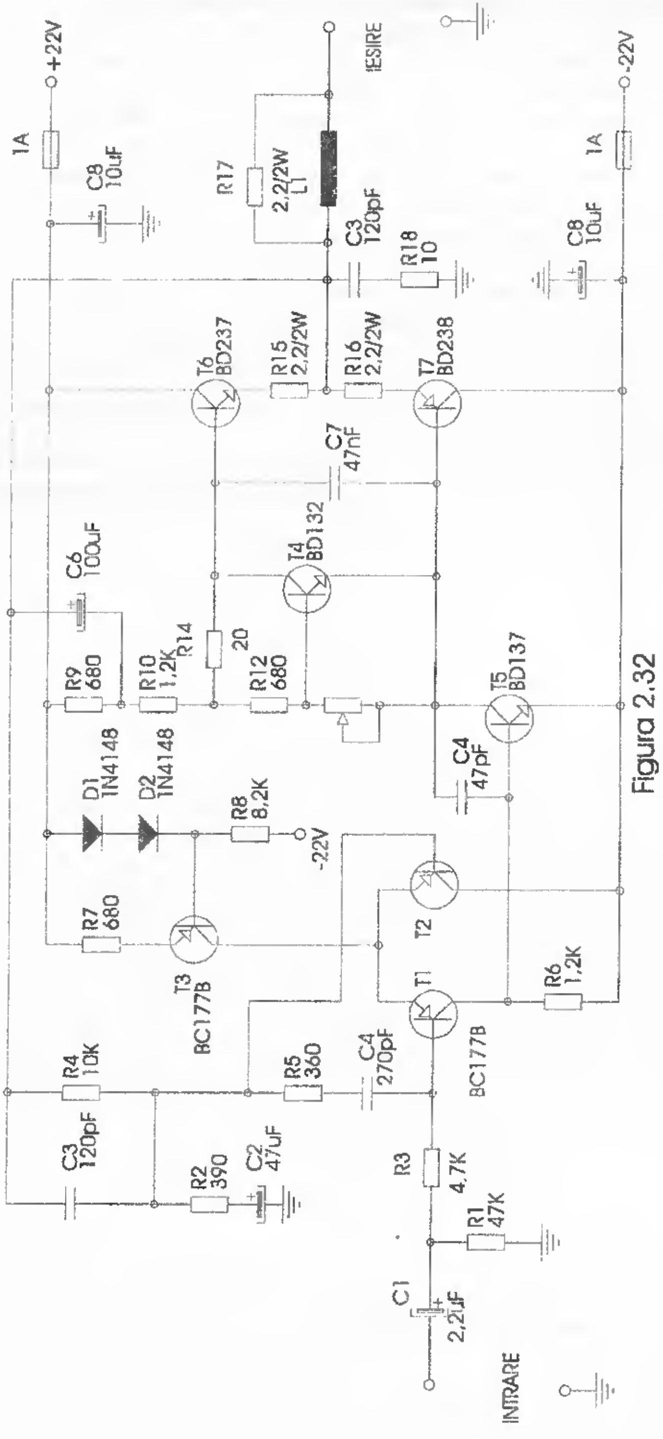
Se ștrapează intrarea montajului (se conectează la masă), se amplasează la ieșirea acestuia o rezistență de 4 ohmi/20 W și se alimentează montajul cu tensiunea dublă de alimentare $U_A = \pm 20$ V. Cele două reglaje principale constau în stabilirea tensiunii de zero a punctului median (ieșirea montajului) și stabilirea curentului de mers în gol al amplificatorului. Tensiunea de zero la ieșirea montajului se reglează

prin acționarea rezistenței semireglabile R_3. Se măsoară tensiunea continuă de ieșire cu ajutorul unui voltmetru și se acționează cursorul potențiometrului semireglabil R_3 până la obținerea valorii de zero. Pentru un reglaj fin se poate înseria cu sarcina (rezistența de 4 ohmi) un miliampermetru (conectat inițial pe domeniul mare de măsură a curenților, sute de miliamperi) și se realizează acționarea foarte fină a potențiometrului semireglabil R_3, până când prin rezistența de sarcină circulă un curent minim. Curentul de mers în gol al amplificatorului se stabilește prin acționarea potențiometrului semireglabil R_{12}. Se acționează cursorul acestuia până când amplificatorul preia de la sursa de alimentare un curent I_0 = 35 mA. După acest reglaj se reverifică tensiunea de zero volți pe sarcină, și dacă este necesar se acționează foarte fin cursorul potențiometrului R_3. După aceste reglaje se deconectează sursa de alimentare, se înlătură ștrapul de la intrarea montajului și cu ajutorul unui osciloscop și al unui generator de audiofrecvență se poate vizualiza forma de undă a semnalului amplificat (evident realimentând cu tensiune montajul). În urma acestor verificări se va observa că sunt confirmate pe deplin performanțele HI-FI estimate inițial.

În **figura 2.32.** este prezentată schema electrică a unui alt tip de amplificator audio de 20 W- varianta a 2-a. Performanțele montajului sunt următoarele:

P_N = 20 W;
Z_i = 47 kΩ;
Z_o = 8 Ω;
U_A = ±24 V;
U_i = 750 mV;
S/N > 80 dB;
Δf = 20 Hz ÷ 30 kHz;
THD < 0,2%;
TID < 0,04%.

Analizând schema electrică a montajului se observă că, față de amplificatorul prezentat anterior, etajul de intrare de tip amplificator diferențial, format din tranzistoarele T_1 și T_2, prezintă în emitoarele acestora un generator de curent constant. El include tranzistorul T_3 și componentele $D_1D_2R_7R_8$. Această configurație a etajului de intrare conferă montajului o serie de calități superioare, dintre care liniaritatea foarte bună a caracteristicilor de transfer, raport semnal/zgomot foarte bun și totodată un procent minim de distorsiuni THD și TID. Tranzistorul T_5 formează etajul pilot al amplificatorului alimentat printr-o conexiune Bootstrap realizată de grupul $R_9R_{10}C_6$. Bucla de reacție negativă globală este formată din grupul $R_4C_3R_2C_2$ ($A = 1 + R_4/R_2$). Condensatorul C_3 și grupul C_4C_5 limitează amplificarea montajului în zona frecvențelor ultrasonore. Același rol îl deține și filtrul Bucherot format din grupul $C_{10}R_{18}$. Bobina L_1 se realizează prin bobinarea pe rezistența R_{17} (2,2 Ω/5 W) a 20 de spire din conductor CuEm de 0,8 mm. Grupul L_1R_{17} a fost prevăzut pentru sporirea stabilității în funcționare a amplificatorului, în momentul apariției regimurilor tranzitorii de funcționare și la suprasarcină de scurtă durată. În vederea ușurării realizării practice a amplificatorului, în **figura 2.33.** s-a prezentat schema de cablaj imprimat a montajului, iar în **figura 2.34.** modul de amplasare a componentelor electrice pe plăcuța de cablaj imprimat. Curentul de mers în gol al amplificatorului prezintă valoarea de I_0 = 40 mA, reglabil cu ajutorul potențiometrului semireglabil R_{13}. Configurația montajului este astfel aleasă încât nu necesită reglajul tensiunii de „0V" din punctul median, ieșirea montajului (în regim static de funcționare). Pentru confirmarea practică a performanțelor estimate inițial, tensiunea de alimentare a montajului U_A = ±24 V va fi dotată cu un filtraj corespunzător (condensatoare de filtraj de minim 2200 µF pe fiecare ramură).



+22V
1A
C8 10uF
R17
2,2/2W
L1
IESIRE
C3 120pF
R18 10
-22V
1A
C8 10uF
T6 BD237
R15 2,2/2W
R16 2,2/2W
T7 BD238
C7 47nF
C6 100uF
T4 BD132
R9 680
R10 1,2K
R14 20
R12 680
T5 BD137
C4 47pF
D1 1N4148
D2 1N4148
R8 8,2K
-22V
R7 680
T2
T3 BC177B
T1
R6 1,2K
R4 10K
R5 360
C4 270pF
BC177B
C3 120pF
R2 390
C2 47uF
R3 4,7K
R1 47K
C1 2,2uF
INTRARE

Figura 2.32

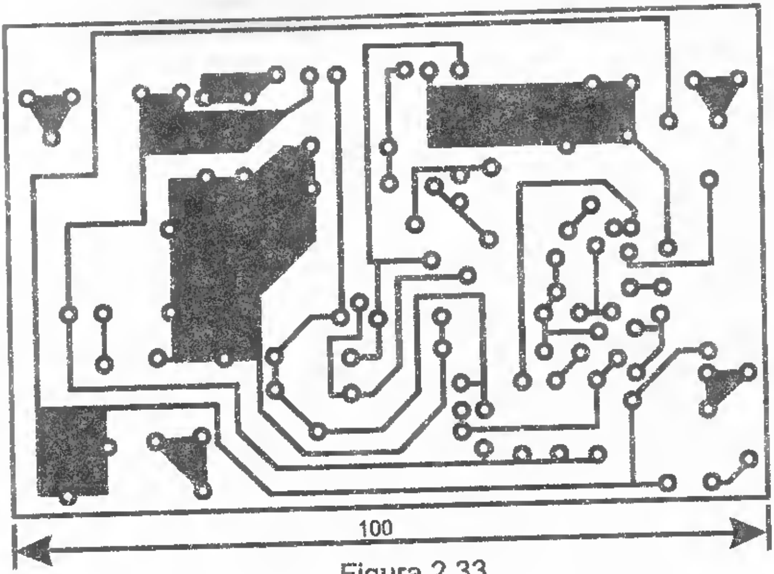


Figura 2.33

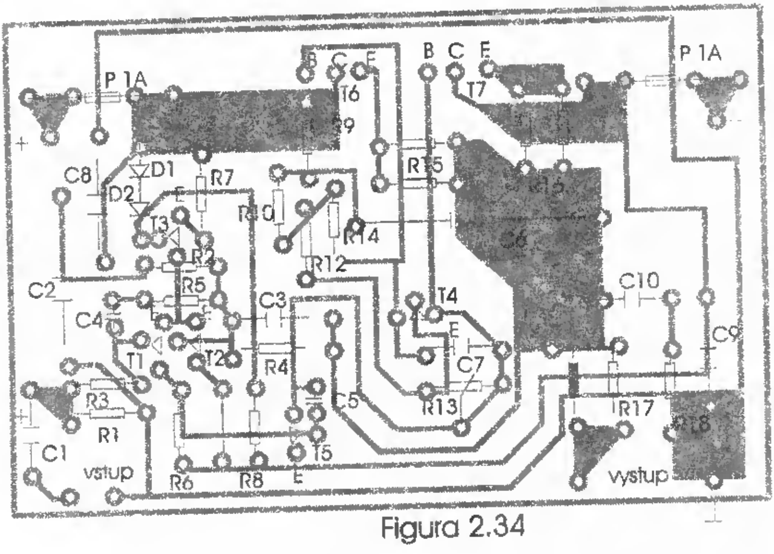


Figura 2.34

Un alt amplificator de 20 W – varianta 3 – deosebit de perfecționat în ceea ce privește configurația, și ale cărui performanțe implică automat încadrarea în categoria HI-FI, este prezentat în **figura 2.35.** Performanțele montajului sunt următoarele:

$P_n = 20$ W;
$Z_i = 10$ kΩ;
S/N ≥ 75 dB;
THD ≤ 0,06%;

U_i = 1000 mV;
Δf = 10 Hz ÷ 40 kHz;
Z_e = 8 Ω;

TID ≤ 0,06%;
U_A = ± 25 V.

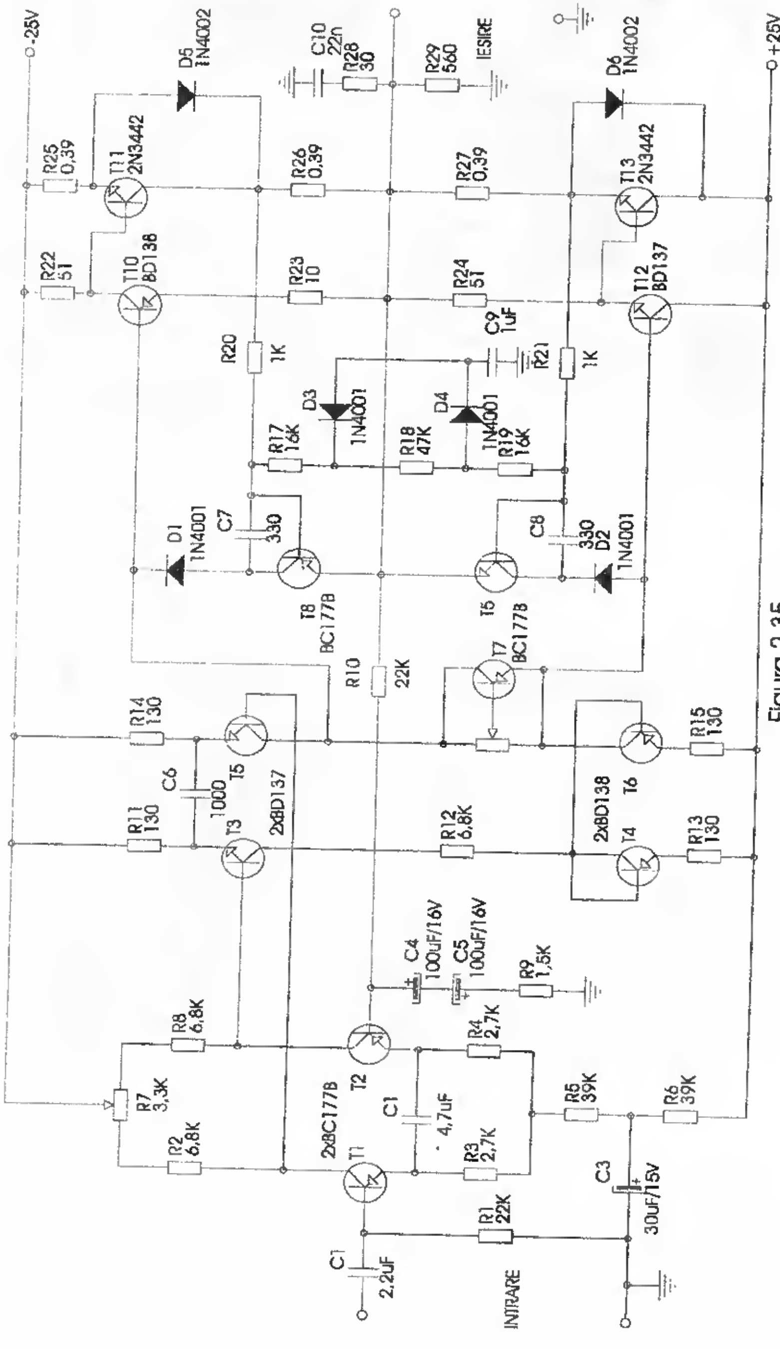


Figura 2.35

Analizând schema electrică prezentată în **figura 2.35.**, se observă că etajul de intrare, de tip amplificator diferențial, format cu ajutorul tranzistoarelor T_1 și T_2 este cuplat galvanic cu un al doilea etaj amplificator de tensiune, tot de tip amplificator diferențial, care conține tranzistoarele T_3 și T_5. Sarcina etajului pilot, realizată cu ajutorul tranzistoarelor T_4 și T_6, este de tip oglindă de curent. Această configurație a montajului oferă ca avantaje o amplificare practic fără distorsiuni a tensiunii de intrare, o caracteristică de transfer liniară intrare-ieșire și totodată o amplificare perfect liniară într-o bandă de frecvență deosebit de largă (10 kHz–40 kHz). Polarizarea în clasa AB de funcționare a etajului final format din grupul de dubleți $T_{11}T_{10}$ și $T_{12}T_{13}$ este asigurată de tranzistorul T_7, amplasat în cadrul montajului într-o configurație de tip superdiodă. Protecția amplificatorului la suprasarcină este de tipul celor cu limitare de curent, și este realizată cu ajutorul tranzistoarelor T_8,T_9 și componentele aferente. Ele funcționează ca la amplificatoarele prezentate până acum, dotate cu acest gen de protecție electronică. Amplificarea generală a montajului este reglementată de bucla de reacție negativă formată din grupul R10C4C5R9 (A = 1 + R10/R9). Reglajele amplificatorului constau în reglajul tensiunii de „zero V" de la ieșire, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_7. Menționăm că tranzistorul T_7 (superdiodă) se amplasează pe radiatorul comun al tranzistoarelor finale T_{11} și T_{13}, izolat galvanic, dar într-un contact termic foarte bun. Valoarea curentului de mers în gol I_0 = 35 mA se realizează prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_{15}.

A.A.F. de 25 W

Schema electrică a montajului este prezentată în **figura 2.36.** Se observă că valorile componentelor electrice au fost astfel alese încât amplificatorul să poată funcționa pe o impedanță de sarcină (impedanța incintei acustice) de valoare 4 Ω sau 8 Ω. Singura modificare o constituie schimbarea valorii tensiunii de alimentare a montajului (U_A = 36 V pentru Z_e = 4 Ω și U_A = 48 V pentru Z_e = 8 Ω). Amplificatorul prezintă următoarele performanțe, care îl încadrează în categoria HI-FI:

P = 25 W;	Δf = 15 Hz ÷ 20 kHz;
Z_i = 100 KΩ;	S/N ≥ 75 dB;
Z_e = 4 Ω (8 Ω);	SR = 12 V/μs;
U_i = 400 mV;	THD ≤ 0,04%;
U_A = 36 V (48 V);	TID ≤ 0,01%.

Analizând schema electrică a montajului, se observă că semnalul audio de intrare se aplică etajului de intrare, prin intermediul grupului C_1R_1, în baza tranzistorului T_1. Filtrul trece-jos R_1C_3 a fost prevăzut, pentru a elimina din start posibilitatea de amplificare a semnalelor ultrasonore, care ar fi putut aduce inconveniente serioase în funcționarea amplificatorului (distorsiuni, oscilații, instabilitate în timpul regimurilor tranzitorii de lucru etc.). Din colectorul tranzistorului T_1, semnalul audio amplificat este aplicat galvanic în baza tranzistorului T_2. Acesta, împreună cu componentele electrice aferente, realizează în cadrul montajului funcția etajului pilot. În vederea unei funcționări optime a acestuia, sarcina tranzistorului T_2 este alcătuită din grupul $R_{10}C_5R_{11}$, care reprezintă o conexiune Bootstrap. În acest fel caracteristicile de transfer ale etajului pilot sunt liniarizate, iar amplificarea tensiunii se face cu un procent de distorsiuni extrem de redus (practic inexistent). Polarizarea în clasa AB a etajului final este realizată de tranzistorul T_3, care, împreună cu

componentele aferente, formează o sursă de tensiune constantă de tip superdiodă. Etajul final este realizat cu ajutorul a doi dubleți complementari de tip Darlington, și include tranzistoarele T_4T_6 (NPN) și T_5T_7 (PNP).

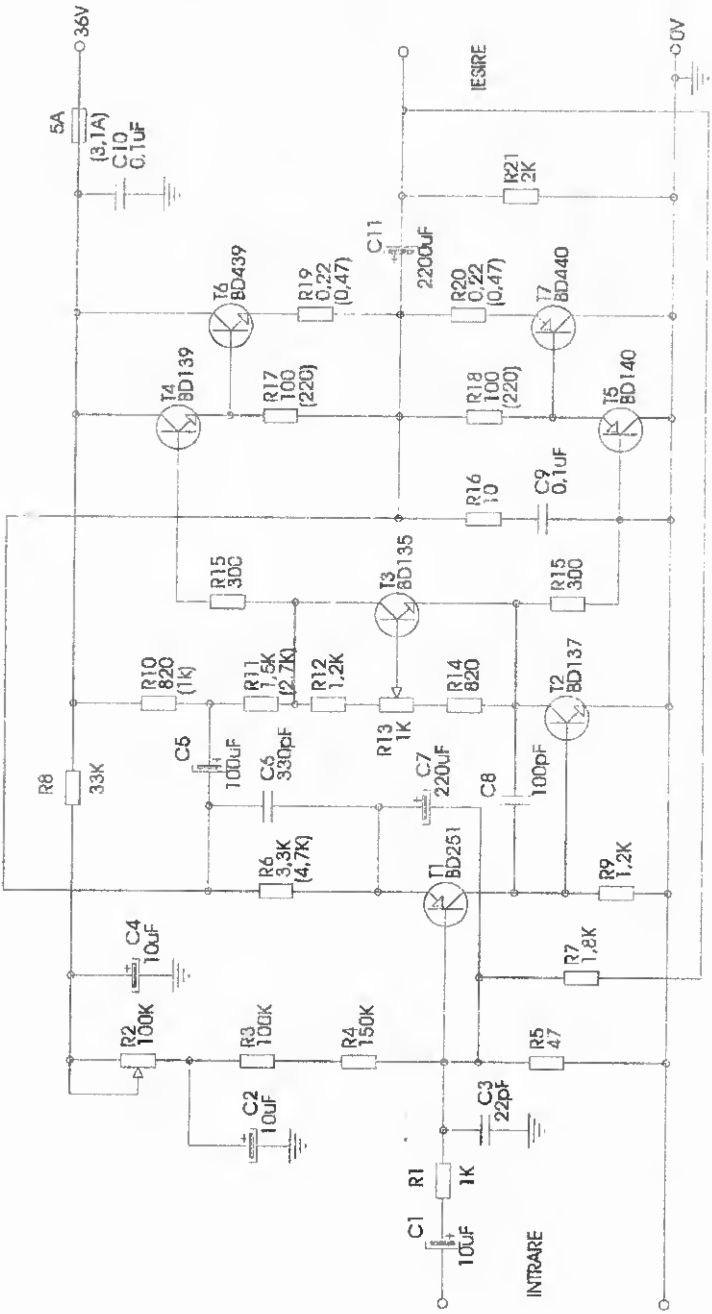


Figura 2.36

Semnalul de ieșire este transmis la ieșirea montajului prin intermediul condensatorului C_{11}. În vederea optimizării funcționării montajului s-au prevăzut o serie de bucle de reacție locale sau globale. Amplificarea generală a montajului este reglementată de o buclă de reacție negativă globală, realizată cu ajutorul grupului $R_9C_7R_5$ ($A = 1 + R_9/R_5$). Condensatorul C_6 a fost prevăzut în scopul limitării amplificării semnalelor ultra-sonore, fapt ce concură suplimentar la stabilitatea în funcționare a montajului. În același scop a fost prevăzut și condensatorul C_8, care realizează în cadrul etajului pilot o reacție negativă locală foarte eficientă. Rezistența R_7 realizează în cadrul montajului o reacție pozitivă subunitară (deci, este exclusă posibilitatea de apariție a unor oscilații), îmbunătățind substanțial funcționarea amplificatorului cu sarcina rezistiv-inductivă (difuzorul/difuzoarele din incinta acustică).

Realizare practică și reglaje

Amplificatorul se realizează practic folosind o plăcuță de sticlostratitex placat cu folie de cupru. Cablajul imprimat se realizează în funcție de gabaritul componentelor electrice folosite (rezistențe și condensatoare), ținând cont de toate regulile amintite până acum (structura fizică de cuadripol a montajului, lipsa buclei de masă, trasee de masă și alimentare groase de minimum 3 mm etc). Tranzistoarele T_1 și T_5 sunt obligatoriu dotate cu radiatoare din tablă de aluminiu groasă de circa 2 mm (îndoită sub formă de U), cu o suprafață de circa 6 cm². Tranzistoarele T_6 și T_7 se amplasează împreună cu tranzistorul T_3, pe un radiator comun din aluminiu de tipul celor cu aripioare de răcire, capabil să radieze fără a se încălzi în exces, puterea disipată $P_D = 0{,}4\ P_N$ (deci, 10 W). Pentru izolarea galvanică tranzistoare-radiator se folosesc folii de mică (groase de circa 0,2 mm), rondele izolante și tub izolant (ca la amplificatoarele prezentate până acum). După realizarea practică a amplificatorului, acesta se alimentează de la o sursă de tensiune continuă U_A, stabilizată și dotată cu un filtraj corespunzător. Reglajele constau în stabilirea valorii $U_A/2$ a tensiunii din punctul median M, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_2. Valoarea curentului de mers în gol $I_0 = 30$ mA se face acționând cursorul potențiometrului semireglabil R_{13}. După aceste reglaje se reverifică valoarea potențialului $U_A/2$ din punctul median M al etajului final și valoarea curentului I_0 (dacă este necesar se mai fac mici ajustări).

O dată ce s-a stabilit acest regim de lucru al amplificatorului, cursoarele celor două potențiometre semireglabile R_2 și R_{13} se rigidizează folosind câte o picătură de vopsea.

Un alt tip de amplificator de 25 W, cu performanțe asemănătoare cu cele ale montajului prezentat anterior, se poate realiza conform schemei electrice prezentate în **figura 2.37**. Se observă că, de această dată, etajul de intrare prezintă configurația de amplificator diferențial de tensiune, realizat cu ajutorul tranzistoarelor T_1 și T_2. Din colectorul tranzistorului T_1, semnalul audio amplificat este transmis galvanic în baza tranzistorului T_3. Acesta, împreună cu tranzistorul T_4 și componentele electrice pasive aferente, îndeplinește funcția etajului pilot. Pentru obținerea unei amplificări mari a etajului pilot, atât în tensiune cât și în curent, (în sensul unei funcționări cu un curent de lucru de ordinul zecilor de miliamperi), tranzistoarele T_3 și T_4 au fost amplasate într-o conexiune de tip dublet super-G. Sarcina etajului pilot o reprezintă tranzistorul T_6, care, împreună cu grupul $R_{20}R_{21}D_4D_5R_{25}$, formează o sarcină dinamică de tip generator de curent constant. Este cunoscut faptul că el reprezintă practic o rezistență echivalentă de valoare foarte mare, din punct de vedere al curentului

alternativ, și mică în curent continuu. Datorită acestui fapt, amplificarea etajului pilot devine foarte mare, banda de trecere a amplificatorului se mărește substanțial, iar procentul de distorsiuni THD și TID devine extrem de redus.

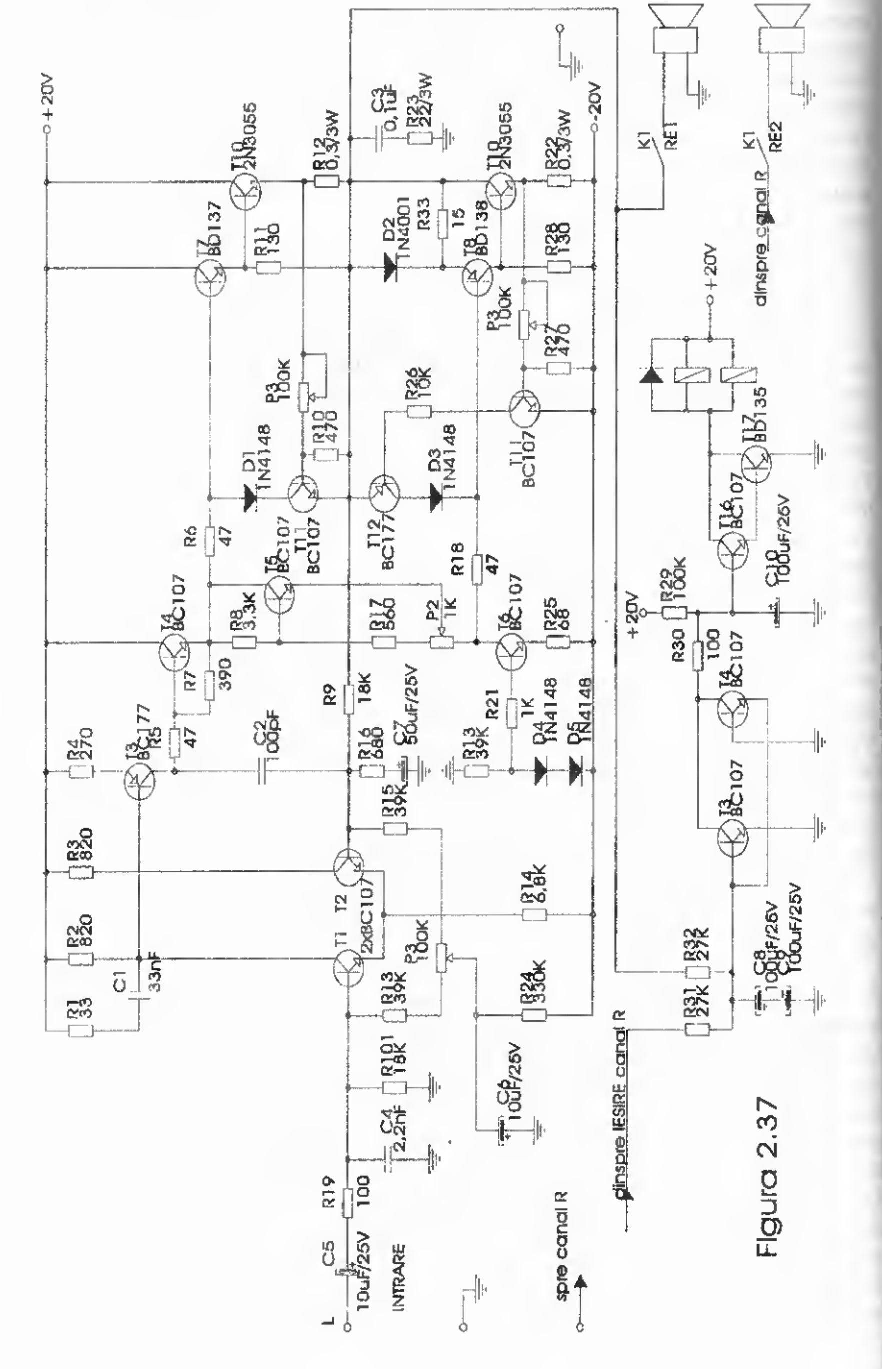


Figura 2.37

Tranzistorul T_5, împreună cu rezistențele $R_8R_{17}P_2$, îndeplinește în cadrul montajului funcția de sursă de tensiune constantă de tip superdiodă, destinată polarizării în clasa de funcționare AB a etajului final. Acesta este alcătuit din dubleții complementari T_7T_9 (NPN de tip Darlington) și T_8T_{10} (PNP de tip Super-G). Grupul C_1R_{25} reprezintă un filtru de tip Bucherot, amplasat la ieșirea montajului în scopul prevenirii apariției oscilațiilor amplificatorului. Amplificarea generală a montajului și stabilitatea în funcționare sunt asigurate de o serie de bucle de reacție negativă (globală și locale). De această dată, reacția negativă globală ce definește amplificarea generală a amplificatorului, se aplică la intrarea inversoare a amplificatorului diferențial de intrare, prin intermediul rezistenței R_9 ($A = 1 + R_9/R_{16}$). Grupul R_1C_1 și condensatorul C_2 reprezintă practic reacții negative locale, care limitează banda de trecere a amplificatorului în domeniul ultrasonor și totodată sporesc stabilitatea în funcționare a montajului în timpul regimurilor tranzitorii de lucru. Deși puterea nominală a amplificatorului este relativ medie (P_N= 25 W), el a fost totuși prevăzut cu două etaje de protecție electronică. Primul etaj de protecție electronică este cel la suprasarcină ($P \geq 1{,}25\ P_N$) de tipul celor cu limitare de curent. La apariția regimului de suprasarcină, curenții mari care trec prin rezistențele R_{12} și R_{20} determină apariția la bornele lor a unor tensiuni capabile de a provoca intrarea în stare de conducție a tranzistoarelor T_{11}, T_{13} și imediat T_{12}. Acest lucru implică derivarea spre punctul median a curenților din bazele dubleților T_7T_9 și T_8T_{10}, intrarea acestora în stare de blocare și deci limitarea curentului livrat impedanței de sarcină (difuzorul) de către etajul final al amplificatorului. Diodele D_1 și D_3 au fost prevăzute pentru asigurarea conducției unidirecționale a curenților din bazele tranzistoarelor T_7 și T_8 în momentul apariției suprasarcinii. Al doilea etaj de protecție electronică a fost prevăzut pentru cazul în care, la ieșirea amplificatorului, în urma unui defect (scurtcircuit colector-emitor la tranzistoarele finale T_9 sau T_{10}) apare o componentă de tensiune continuă de polaritate pozitivă sau negativă, care, în mod normal, distruge rapid difuzorul de „joase" din incinta acustică. Apariția componentei de tensiune continuă (pozitivă sau negativă) la ieșirea montajului este sesizată prin intermediul rezistenței R_{22} de grupul de tranzistoare $T_{14}T_{15}$. Acestea se află în stare de blocare în timpul regimului normal de funcționare, fapt care implică încărcarea condensatorului C_{10} până la 1,3 V, când dubletul $T_{16}T_{17}$ a intrat în stare de conducție, releul REL 1 (și REL 2 pentru celălalt canal informațional al amplificatorului stereo) este anclanșat, iar prin contactul normal deschis (CND) K_1 ieșirea amplificatorului este conectată la sarcină (difuzor).

În timpul regimurilor de avarie, la apariția tensiunii continue pozitive, tranzistorul T_{14} intră în stare de conducție, iar la apariția tensiunii continue negative va intra în stare de conducție tranzistorul T_{15}. În oricare din aceste două situații, condensatorul C_{10} se descarcă prin intermediul rezistenței R_{30} și rezistența colector-emitor (de ordinul zecilor de ohmi) a unuia din cele două tranzistoare aflate în stare de conducție. Acest fapt determină practic punerea la masă a bazei tranzistorului T_{16}, intrarea în stare de blocare a dubletului de tranzistoare $T_{16}T_{17}$, fapt care implică dezanclașarea releului REL 1. Ca urmare CND K1 se deschide, iar ieșirea amplificatorului audio este deconectată de la sarcină (difuzor). Se menționează că elementele acestei protecții electronice (rezistențele și condensatoarele) sunt dimensionate astfel încât protecția să funcționeze și pentru semnale audio infrasonore (sub 10 Hz), fapt care implică un plus de utilizabilitate montajului. Un alt fapt pozitiv al protecției electronice de acest tip îl constituie constanta de timp de circa 4 s în ceea ce privește conectarea ieșirii montajului la difuzoare după alimentarea lui cu tensiune (sursa dublă $U_A = \pm 20$ V). În acest fel, se evită sesizarea de către difuzoare a regimului tranzitoriu de pornire,

acel „poc" auzit la pornirea sau la oprirea amplificatoarelor mai puțin perfecționate.

Se recomandă utilizarea acestui gen de protecție electronică la toate amplificatoarele alimentate cu sursă simetrică de tensiune ($\pm U_A$) care vor fi descrise ulterior, datorită funcționării ei ireproșabile.

Reglajele amplificatorului constau în stabilirea potențialului „0V" la ieșirea montajului, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil P_3 și stabilirea curentului de mers în gol I_0 = 30 mA, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil P_2. A nu se uita ștraparea intrării montajului (conectarea la masă) înaintea efectuării reglajelor menționate anterior.

A.A.F. de 32 (55) W

Mărirea puterii livrate de amplificatorul audio implică, alături de creșterea tensiunii (sau tensiunilor) de alimentare a montajului și creșterea complexității schemei electrice. În **figura 2.38.** este prezentată schema electrică a amplificatorului care deține următoarele performanțe:

P_N = 22 W (55 W);	Δf = 15 Hz – 100 kHz;
Z_i = 15 kΩ;	S/N ≥ 85 dB;
Z_e = 8 Ω (4 Ω);	SR = 15 V/ms;
U_i = 1000 mV;	THD ≤ 0,12%;
U_A = ± 30 V;	TID ≤ 0,03 %.

Semnalul audio se aplică la intrarea montajului, prin intermediul condensatorului C_1, etajului de intrare. Acesta este format din două amplificatoare diferențiale, în componența cărora intră tranzistoarele T_1T_2 și T_3T_4. Ele amplifică într-un mod perfect simetric cele două semialternanțe ale semnalului audio, asigurând în final o amplificare a acestuia practic lipsită de distorsiuni. Din colectoarele tranzistoarelor T_1 și T_3, semnalul audio amplificat (fiecare dintre cele două semialternanțe) este transmis galvanic în bazele tranzistoarelor T_5 și T_6. Acestea îndeplinesc rolul etajului pilot, care asigură excursia maximă de tensiune a semnalului audio amplificat. Diodele D_3 și D_4 asigură polarizarea etajului final. Acesta este format din doi tripleți complementari, și anume tripletul NPN format din tranzistoarele $T_7T_9T_{11}$ și tripletul PNP format din tranzistoarele T_8T_{10} și T_{12}, (evident, cei doi tripleți au în componență o serie de rezistențe, conform considerentelor menționate în capitolul 1). Amplificarea generală a montajului este reglementată de bucla de reacție negativă generală, formată din grupul $R_{14}R_{11}C_4$ ($A = 1 + R_{14}/R_{11}$). Protecția la suprasarcină a amplificatorului este de tipul celor cu limitare de curent. Ea este realizată cu ajutorul tranzistoarelor T_{13} și T_{14}, și funcționează la fel ca la amplificatoarele dotate cu astfel de protecție prezentate anterior. La ieșirea montajului se mai remarcă bobina L_1, realizată din 20 de spire din conductor CuEm cu diametrul de 1 mm. Prezența ei îmbunătățește foarte mult funcționarea montajului în timpul apariției unor regimuri tranzitorii de lucru. Bobina L_1 se realizează practic prin bobinarea ei chiar pe rezistența R_{33} de 10 Ω/3 W, amplasată la ieșirea montajului (conectată galvanic chiar pe terminalele ei). Se mai remarcă la ieșirea montajului prezența filtrului Bucherot $R_{35}C_8$, amplasat în scopul prevenirii apariției oscilațiilor ultrasonore. Tot în același scop cei doi tripleți conțin condensatoarele C_6 și C_7 – reacții negative locale.

Reglajele acestui tip de amplificator constau în stabilirea valorii „0V" la ieșirea montajului, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_9.

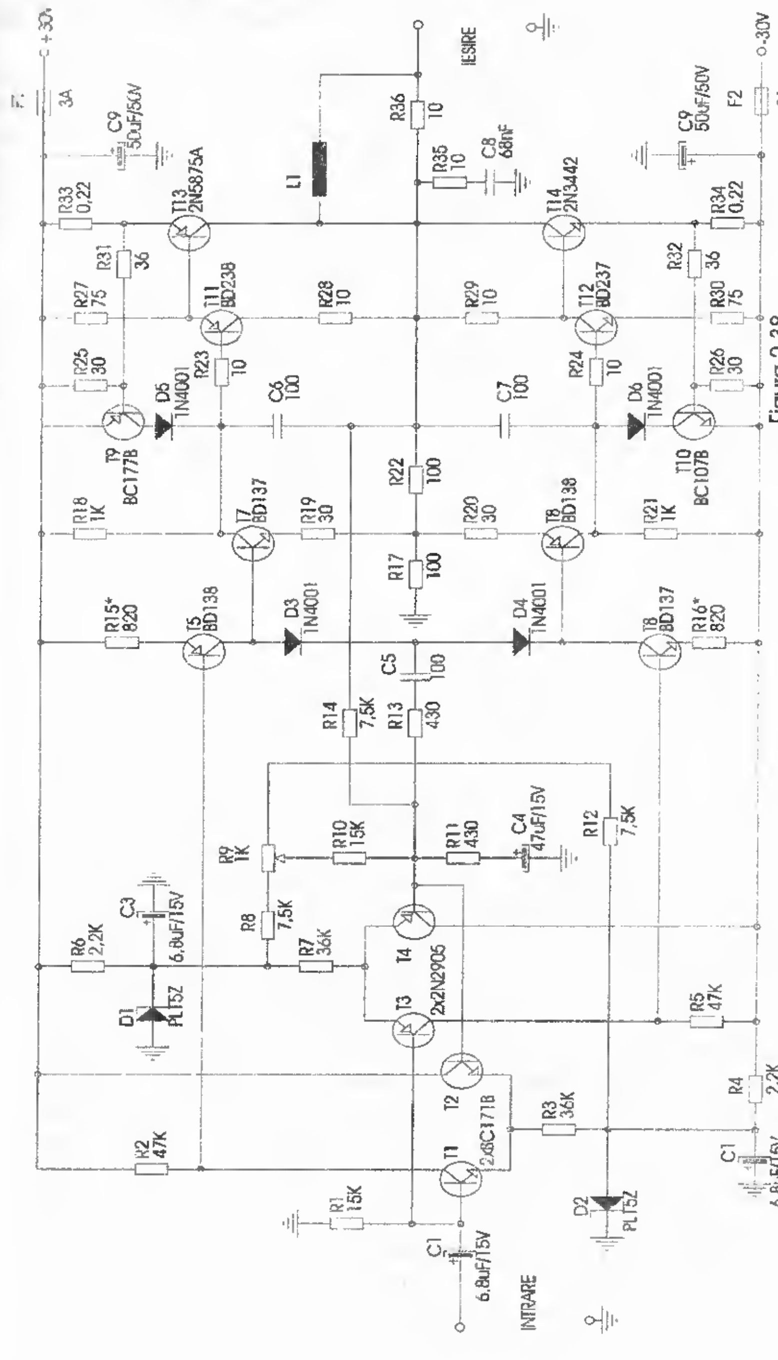

+30V
F1
3A
C9
50uF/50V
R33
0,22
T13
2N5875A
R31
36
R27
75
T11
BD238
R25
30
R23
10
D5
1N4001
T9
BC177B
R18
1K
T7
BD137
R15*
820
T5
BD138
D3
1N4001
R6
2,2K
C3
6,8uF/15V
D1
PL15Z
R2
47K
T1
2xBC171B
T2
R1
15K
C1
6,8uF/15V
INTRARE
IESIRE
R36
10
L1
R35
10
C8
68nF
R28
10
C6
100
R19
30
R22
100
R17
100
C5
100
R14
7,5K
R13
430
R9
1K
R10
15K
R11
430
C4
47uF/15V
R8
7,5K
R7
36K
T4
T3
2x2N2905
R12
7,5K
R3
36K
D2
PL15Z
R29
10
C7
100
R20
30
T8
BD138
D4
1N4001
R24
10
D6
1N4001
T12
BD237
T14
2N3442
R32
36
R30
75
R26
30
T10
BC107B
R21
1K
R16*
820
BD137
R5
47K
R4
2,2K
R34
0,22
F2
3A
-30V

Figura 2.38

După acest lucru se stabilește un curent de mers în gol I_0 = 170 mA, prin modificarea (dacă este necesar) a valorilor rezistențelor R_{15} și R_{16} cu circa ±10%. Se remarcă la acest montaj impedanța de intrare scăzută, care oferă în final bune performanțe în privința raportului semnal-zgomot S/N.

Modul perfect simetric de amplificare a celor două semialternanțe ale semnalului audio și configurația generală simetrică a montajului îi oferă acestuia performanțele estimate inițial. Dar pentru acest lucru este absolut necesar ca la realizarea practică a amplificatorului tranzistoarele T_1 și T_2, T_3 și T_4, T_5 și T_6, T_7 și T_8, T_9 și T_{10}, T_{11} și T_{12} să dețină aceeași valoare a factorului de amplificare în curent h_{21E}. Protecția generală a amplificatorului este realizată cu ajutorul siguranțelor fuzibile F_1 și F_2, amplasate pe cele două ramuri de alimentare cu tensiune a montajului.

A.A.F. de 35 W

Acest amplificator prezentat în **figura 2.39.** reprezintă o variantă perfecționată a amplificatorului Mullard, încadrabil în categoria HI-FI. Performanțele montajului sunt următoarele:

P_N = 30 W;
Z_i = 220 kΩ;
Z_e = 8 Ω (4 Ω);
U_i = 450 mV;
U_A = 60 V (50 V);

Δf = 22 Hz – 25 kHz;
S/N ≥ 75 dB;
THD ≤ 0,2%;
TID ≤ 0,06 %.

Analizând schema electrică a montajului, se observă că blocurile funcționale de bază confirmă structura generală a oricărui amplificator audio, prezentată în capitolul 1. Etajul de intrare conține tranzistorul T_1, care primește semnalul de intrare prin intermediul grupului C_1R_1. Grupul R_1C_3 reprezintă filtrul trece-jos care limitează din start posibilitatea de amplificare a semnalelor ultrasonore. Din colectorul tranzistorului T_1 semnalul audio amplificat este transmis galvanic în baza tranzistorului T_2. El realizează funcția etajului pilot, și anume determină excursia maximă în tensiune a semnalului audio amplificat.

Grupul $R_{10}C_6R_{11}$ reprezintă o conexiune bootstrap, care îmbunătățește foarte mult funcționarea etajului pilot, asigurându-i liniaritatea caracteristicilor de transfer amplitudine-frecvență în toată banda audio. Polarizarea în clasa AB a etajului final propriu amplificatorului este realizată de tranzitorul T_3, care împreună cu grupul $R_{12}R_{13}R_{14}$ realizează o sursă de tensiune constantă de tip superdiodă. Etajul final este alcătuit din doi dubleți complementari, și anume dubletul NPN – T_6T_8 – de tip Darlington și dubletul PNP – T_7T_9 – de tip Super-G. Amplificarea generală a montajului este definită de bucla de reacție negativă globală care include elementele $R_8C_5R_6$ ($A = 1 + R_8/R_6$). Se mai remarcă și bucla de reacție pozitivă subunitară realizată cu rezistența R_7, care îmbunătățește foarte mult comportarea amplificatorului în timpul funcționării la sarcina nominală. Condensatoarele C_4 și C_9 reprezintă reacții negative locale, care limitează banda de trecere a amplificatorului la cea audio, stabilizând suplimentar funcționarea acestuia în momentul apariției regimurilor tranzitorii. Se mai remarcă protecția electronică de tipul celor cu limitare în tensiune. Astfel, la apariția unui semnal de intrare mai mare decât cel nominal (U_i = 450 mV), tranzistoarele T_4 și T_5 intră în stare de conducție și, prin acest lucru, blochează funcționarea celor doi dubleți complementari (derivând la punctul median M curentul din bazele acestora, și ca urmare blocându-i).

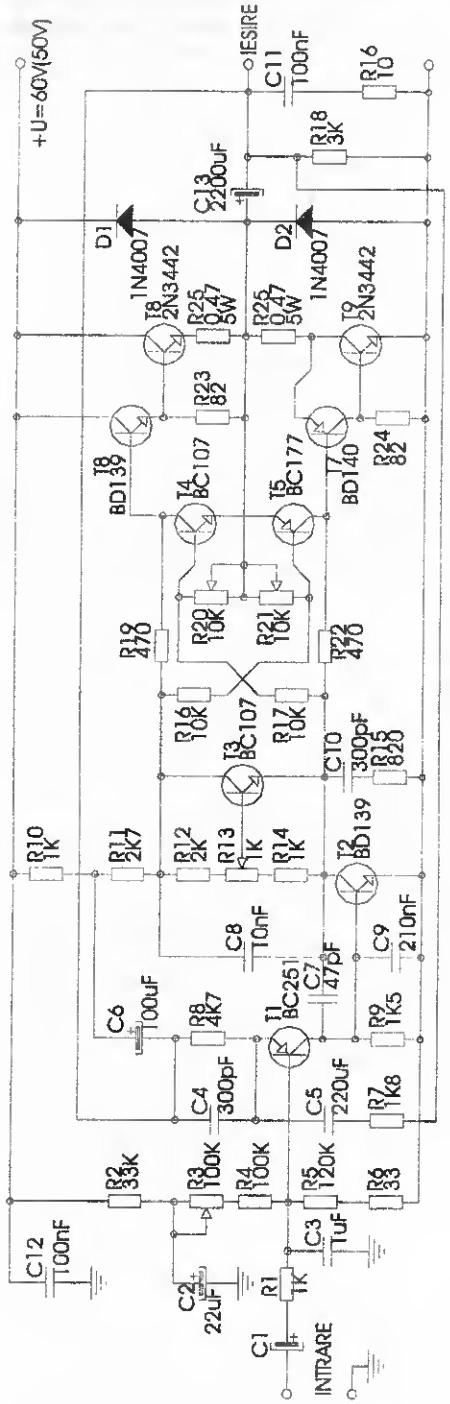

+U=60V(50V)
IESIRE
INTRARE
C11 100nF
R16 10
R18 3K
C13 2200uF
D1 1N4007
D2 1N4007
T8 2N3442
T9 2N3442
R25 0,47 5W
R25 0,47 5W
R23 82
R24 82
T8 BD139
T7 BD140
T4 BC107
T5 BC177
R19 470
R22 470
R20 10K
R21 10K
R16 10K
R17 10K
T3 BC107
C10 300pF
R15 820
R10 1K
R11 2K7
R12 2K
R13 1K
R14 1K
T2 BD139
C8 10nF
C9 210nF
C7 47pF
C6 100uF
R8 4K7
T1 BC251
R9 1K5
C4 300pF
C5 220uF
R7 1K8
R2 33K
R3 100K
R4 100K
R5 120K
R6 33
C12 100nF
C3 1uF
C2 22uF
R1 1K
C1

Figura 2.39

Reglajele amplificatorului încep cu stabilirea în punctul median M a potențialului electric $U_A/2$, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_3. Urmează reglarea valorii curentului de mers în gol I_0 = 45 mA, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_{13}. Reglajul protecției electronice se face aplicând la intrarea montajului un semnal de intrare U_i = 500 mV/1kHz sinusoidal. Cu ajutorul unui osciloscop, se vizualizează forma de undă a semnalului de ieșire al amplificatorului. Acționând cursoarele potențiometrelor semireglabile R_{20} și R_{21}, se urmărește ca forma de undă să fie limitată în mod simetric.

Un alt montaj care livrează tot o putere nominală de 35 W deține schema electrică prezentată în **figura 2.40**. Performanțele lui sunt:

P_N = 35 W;	Δf = 40 Hz – 22 kHz;
Z_i = 68 kΩ;	S/N ≥ 70 dB;
Z_e = 4 Ω;	THD ≤ 0,3%;
U_i = 250 mV;	TID ≤ 0,07%.
U_A = ± 30 V;	

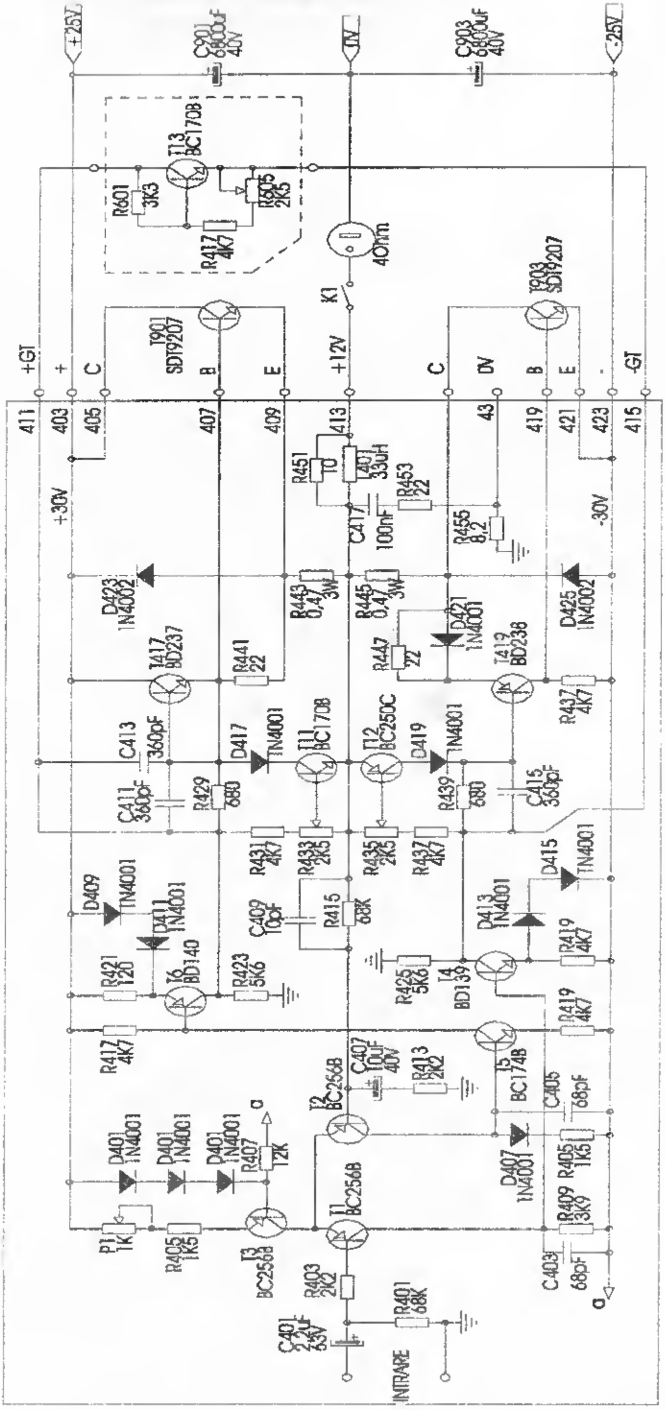
Se observă că amplificatorul se alimentează de la o sursă dublă de tensiune (U_A = ± 30 V) dotată obligatoriu cu un filtraj eficient (condensatoare de minim 4700 µF pe fiecare ramură a tensiunii U_A). Etajul de intrare este de tip amplificator diferențial de tensiune, a cărui funcționare este mult îmbunătățită de sarcina dinamică de tip generator de curent constant amplasată în emitoarele (comune galvanic) tranzistoarelor T_1 și T_2. Ea este realizată cu ajutorul tranzistorului T_3 (și componentele electrice aferente $D_1D_2D_3R_3R_4$). Semnalul audio amplificat de tranzistoarele T_1 și T_2 este preluat simetric (fiecare semialternanță) de tranzistoarele T4, T5, T6, care îndeplinesc funcția etajului pilot. Urmează amplificarea în putere (deci, în curent) a semnalului audio de către dubleții complementari T_7T_9 (NPN) și T_8T_{10} (PNP). Rolul tranzistorului T_5 este schimbarea de nivel, și anume realizarea aceleiași amplificări a semialternanței semnalului audio amplificat în tensiune de tranzistorul T_2, dar modificând nivelul static al tensiunii continue necesare polarizării optime a tranzistorului T_6. Amplificarea generală a montajului este reglementată de grupul $R_6R_9C_4$ ($A = 1 + R_9/R_6$). Polarizarea în clasa AB de funcționare a etajului final este realizată de tranzistorul T_{13}, care formează sursa de tensiune constantă de tip superdiodă. Protecția electronică a amplificatorului este de tipul celei cu limitare în curent, realizată cu ajutorul tranzistoarelor T_{11} și T_{12} și funcționând la fel ca cele prezentate anterior.

Reglajele amplificatorului constau în stabilirea la ieșirea acestuia a potențialului „OV", prin acționarea potențiometrului semireglabil P_1. Urmează stabilirea valorii curentului de mers în gol I_0 = 60 mA, acționând cursorul potențiometrului semireglabil P2. Reglajul protecției electronice se face la fel ca la amplificatoarele dotate cu acest gen de protecție prezentate până acum (limitarea simetrică a sinusoidei la 1,25 P_N, acționând cursoarele potențiometrelor semireglabile P_3 și P_4).

A.A.F. de 40 W

Schema electrică a amplificatorului este prezentată în **figura 2.41**. El deține următoarele performanțe:

P_N = 40 W ;	Δf = 25 Hz ÷ 30 kHz;
Z_i = 40 kΩ;	S/N ≥ 70 dB;



+25V
C901 6800uF 40V
0V
C903 6800uF 40V
-25V
T13 BC170B
R601 3K3
R605 2K5
R417 4K7
4Ohm
K1
T901 SD19207
T903 SD19207
+GT
+
C
B
E
+12V
C
0V
B
E
-
-GT
411
403
405
407
409
413
43
419
421
423
415
+30V
R451 10
L401 33uH
R453 22
C417 100nF
R455 8,2
-30V
D423 1N4002
R443 0,47 3W
R445 0,47 3W
D421 1N4001
R447 22
D425 1N4002
T417 BD237
R441 22
T419 BD238
R437 4K7
C413 360pF
D417 1N4001
T11 BC170B
T12 BC250C
D419 1N4001
C411 360pF
R429 680
R439 680
C415 360pF
R431 4K7
R433 2K5
R435 2K5
R437 4K7
D409 1N4001
D411 1N4001
R421 120
T6 BD140
R423 5K6
C409 10pF
R415 68K
R425 5K6
T4 BD139
D413 1N4001
D415 1N4001
R419 4K7
R417 4K7
C407 10uF 40V
R413 2K2
T5 BC174B
C405 68pF
T2 BC256B
D401 1N4001
R407 12K
D407 1N4001
R405 1K5
P1 1K
R405 1K5
T3 BC256B
T1 BC256B
R409 3K9
C403 68pF
R403 2K2
R401 68K
C401 2,2uF 63V
INTRARE

Figura 2.40

$Z_e = 4\ \Omega$;
$U_i = 700$ mV;
$U_A = 45$ V;
THD ≤ 0,2%;
TID ≤ 0,04%.

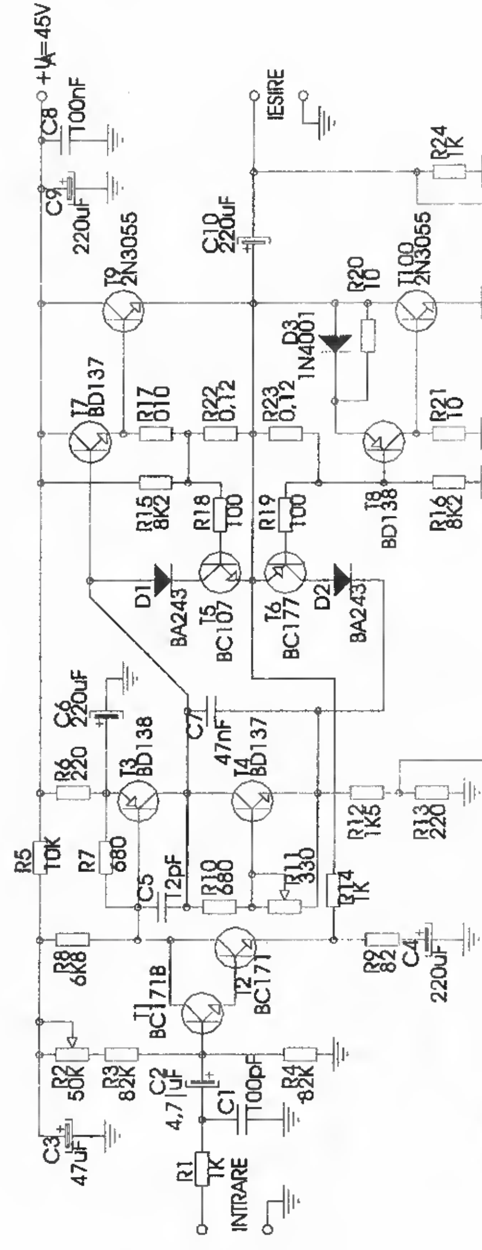


Figura 2.41

Analizând schema electrică prezentată în **figura 2.41**. se observă că semnalul de intrare se aplică prin intermediul grupului R_1C_2 în baza tranzistorului T_1, care face parte din etajul de intrare. Acesta conține tranzistoarele T_1 și T_2, amplasate într-o conexiune de tip dublet Darlington. Scopul acestui amplasament îl constituie obținerea unei amplificări mari în tensiune a etajului de intrare. Din colectorul tranzistorului T_2 semnalul audio amplificat se transmite galvanic în baza tranzistorului T_3. Acesta îndeplinește în cadrul montajului funcția etajului pilot. Sursa de tensiune constantă necesară polarizării în clasa AB a etajului final este realizată cu ajutorul tranzistorului T_4 și al componentelor aferente (R10 și R11). Sarcina etajului pilot o constituie rezistențele inserate R_{12} și R_{13}. Ele sunt amplasate într-o conexiune Bootstrap față de ieșirea montajului, în vederea optimizării funcționării etajului pilot. Etajul final, realizat cu ajutorul dubleților T_7T_9 (NPN) și T_8T_{10} (PNP) prezintă o configurație clasică, descrisă amănunțit la montajele prezentate anterior. Amplificarea generală a montajului este reglementată de bucla de reacție negativă în care este inclusă rezistența R_{14} ($A = 1 + R_{14}/R_9$). Protecția electronică realizată cu ajutorul tranzistoarelor T_5 și T_6 este de tipul celor cu limitare de curent. Reglajele montajului constau în stabilirea în punctul median M a unui potențial $U_A/2$, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_2. Valoarea curentului de mers în gol I_0 = 50 mA se reglează prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_{11}.

Schema electrică a altui amplificator de 40 W, care deține performanțe asemănătoare cu cel prezentat anterior, este dată în **figura 2.42**. De această dată etajul de intrare este realizat în configurația de amplificator diferențial, care conține tranzistoarele T_2 și T_3. Un element nou față de montajele prezentate anterior îl constituie prezența etajului de protecție termică, amplasat la intrarea montajului și care conține tranzistorul T_1. Polarizarea acestuia este astfel realizată (termistorul Th și rezistența R_3) încât, la temperatura normală de lucru a etajului final (ale cărui tranzistoare finale T_{10} și T_{11} sunt amplasate pe un radiator comun, pe care este montat și termistorul Th), tranzistorul T_1 se află în stare de blocare. În această situație semnalul audio de intrare se aplică în mod obișnuit etajelor funcționale ale amplificatorului. La depășirea temperaturii de circa 60°C a radiatorului comun tranzistoarelor finale, termistorul Th își modifică substanțial rezistența (scade). În această situație tensiunea de polarizare a bazei tranzistorului T_1 crește, acesta intră în stare de conducție și scurtcircuitează semnalul audio de intrare, blocând funcționarea amplificatorului.

În rest, configurația și funcționarea celorlalte blocuri electronice este la fel ca la amplificatoarele prezentate până acum.

Realizarea practică a amplificatorului se face folosind o plăcuță de sticlostratitex placat cu folie de cupru. O variantă de cablaj imprimat este prezentată **în figura 2.43**.

Reglajul amplificatorului începe cu stabilirea tensiunii „OV"la ieșirea acestuia, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil P_1. Urmează reglajul valorii curentului de mers în gol I_0 = 60 mA, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil P_2. Protecția electronică include astfel de valori ale componentelor electrice rezistive, destinate sesizării suprasarcinii ($R_{16}R_{23}$ și $R_{19}R_{17}$), încât să acționeze la o valoare 1,25 P_N a puterii de ieșire livrate.

Un alt amplificator de 40 W, având însă o schemă electrică mai îngrijit realizată, este cel prezentat în **figura 2.44**. Performanțele acestui montaj sunt următoarele:

P_N = 40 W; Δf = 30 Hz ÷ 30 kHz;
Z_i = 18 kΩ; S/N ≥ 75 dB;

$Z_e = 4\ \Omega$; $U_i = 500$ mV; $U_A = \pm 35$ V;

SR = 8 V/µs; THD ≤ 0,02%; TID ≤ 0,006%.

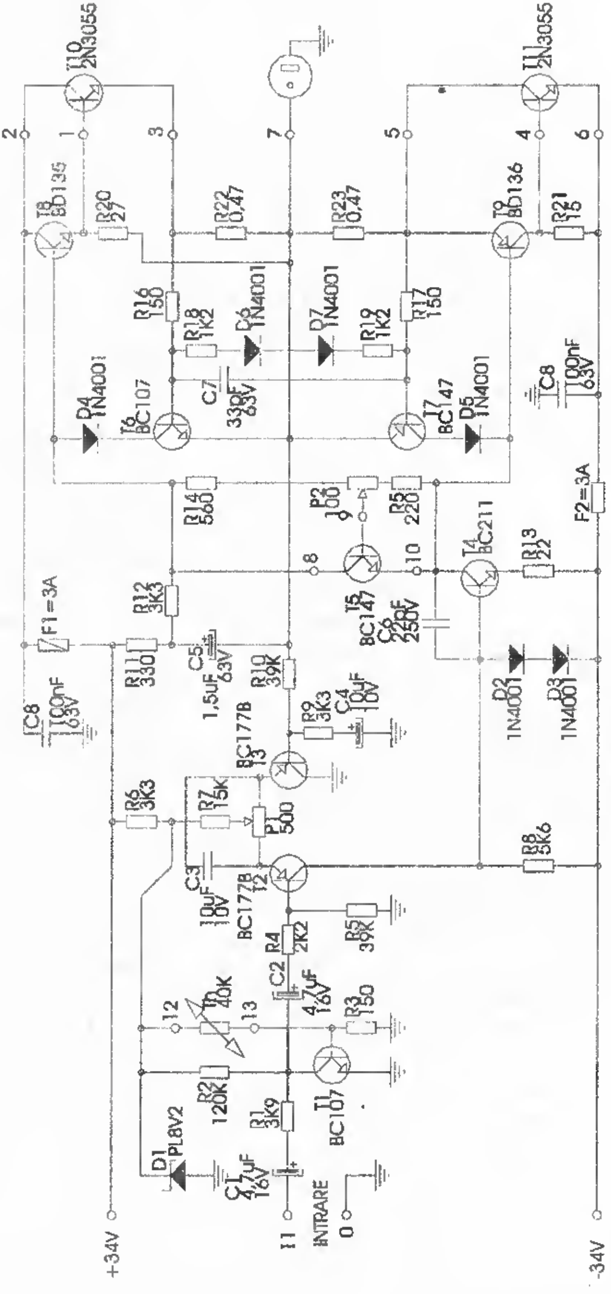


Figura 2.42

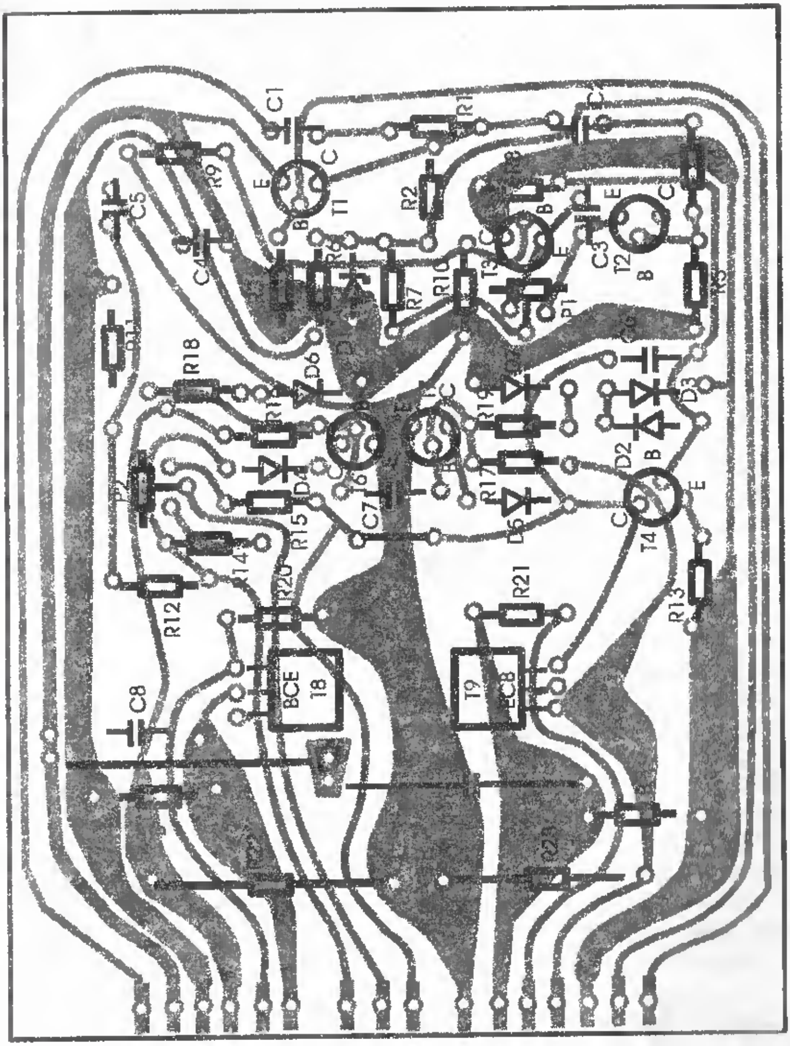


Figura 2.43

Semnalul de intrare se aplică prin intermediul condensatorului C_1 și al rezistenței R_1 în baza tranzistorului T_1, care face parte dintr-un amplificator diferențial. El conține tranzistoarele T_1,T_2 și T_3. Tranzistorul T_3 este amplasat într-o configurație de sarcină activă de tip generator de curent constant (T_1,D_1,D_2,R_8). Acest gen de amplasament îmbunătățește foarte mult performanțele de lucru ale amplificatorului diferențial, în ceea ce privește liniaritatea caracteristicilor de transfer, banda de trecere (foarte largă) și procentul foarte redus de distorsiuni THD și TID. Tranzistorul T_4 realizează o amplificare suplimentară a semnalului audio preluat de la amplificatorul diferențial (etajul de amplificare tensiune). Tranzistorul T_5 îndeplinește funcția etajului pilot. Comportarea foarte bună a etajului pilot în ceea ce privește amplificarea maximă în tensiune, cu un minim de distorsiuni, este impusă de caracterul sarcinii acesteia – generatorul de curent constant realizat cu ajutorul tranzistorului T_6.

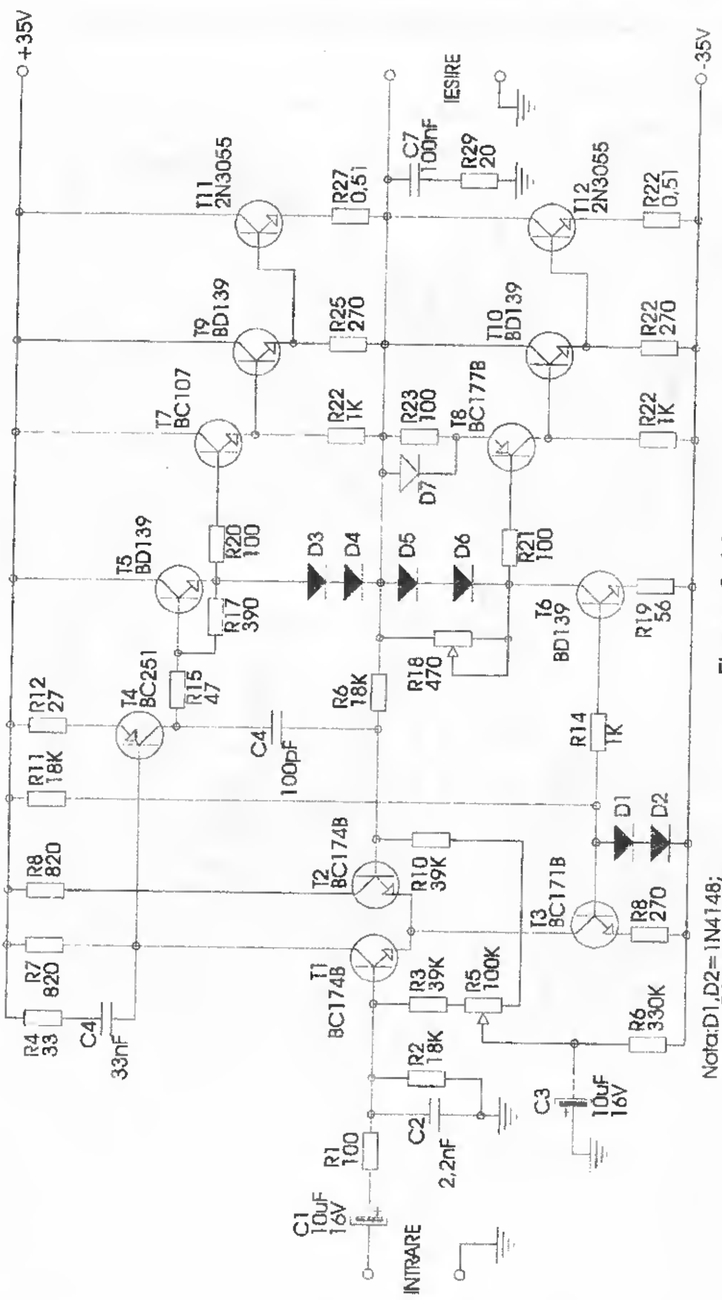


Figura 2.44

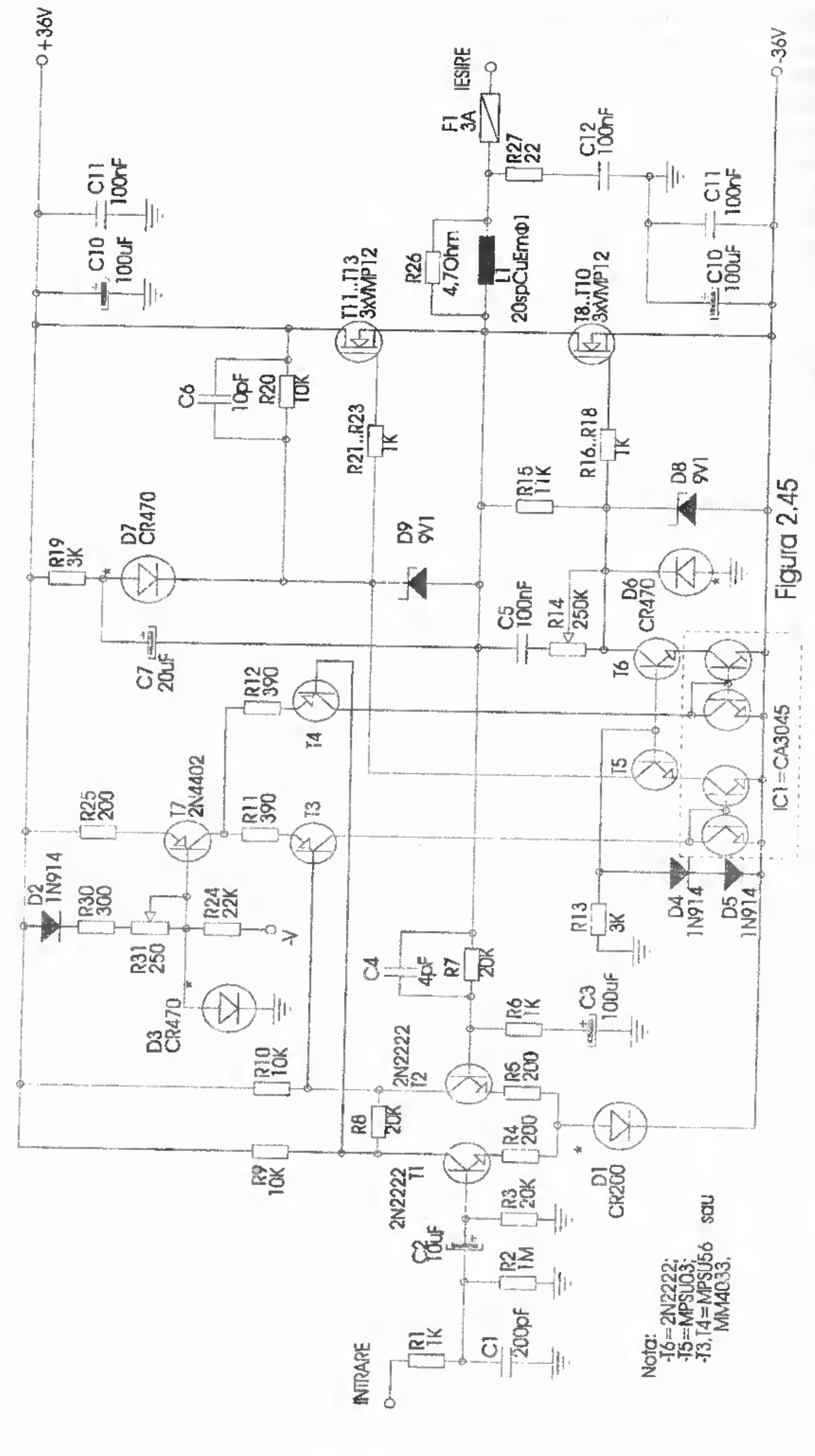
Nota: D1,D2=1N4148; D3..D7=1N4001.

Polarizarea în clasa AB de funcționare a etajului final este asigurată de sursa de tensiune constantă realizată cu ajutorul grupului $D_3D_4D_5D_6R_{18}$. Etajul final este format din doi tripleți complementari, și anume tripletul NPN – $T_7T_9T_{11}$ și tripletul PNP – $T_8T_{10}T_{12}$. Amplificarea generală a montajului este reglementată de bucla de

reacție negativă formată din grupul $R_{16}R_{13}C_n$ ($A = 1 + R_{16}/R_{13}$). Grupul C_7R_{29} amplasat la ieșirea montajului reprezintă un filtru Bucherot, care previne orice tendință de apariție a unor oscilații ale amplificatorului în domeniul frecvențelor înalte. Reglajele amplificatorului constau în stabilirea potențialului „OV" la ieșirea montajului prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_3. Urmează stabilirea valorii curentului de mers în gol I_0 = 70 mA, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_{18}. Se menționează că la realizarea practică a montajului, în mod obligatoriu grupul de diode $D_3D_4D_5D_6$ se amplasează pe radiatorul comun al tranzistoarelor finale T_{11} și T_{12}, izolate galvanic (cu o foiță de mică), dar într-un contact „termic" foarte bun cu el. În acest mod se asigură compensarea termică ce implică funcționarea stabilă a amplificatorului într-un domeniu larg de temperaturi. De asemenea, tranzistoarele T_1 și T_2, T_7 și T_8, T_9 și T_{10}, T_{11} și T_{12} vor avea același factor de amplificare în curent h_{e1E}.

În **figura 2.45.** este prezentată o altă schemă electrică a unui amplificator de 40 W performant, realizat de această dată cu tranzistoare MOSFET de putere. Se observă că etajul de intrare, de tip amplificator diferențial de tensiune, este precedat de către un filtru trece-jos de tip RC (R_1C_1). El limitează din start amplificarea semnalelor ultrasonore ce s-ar putea aplica accidental la intrarea montajului. Urmează un al doilea etaj, de amplificare în tensiune de tip amplificator diferențial, realizat cu ajutorul tranzistoarelor T_3 și T_4. Se remarcă generatorul de curent constant, format din tranzistorul T_7 și componentele aferente (R_{25},D_3,R_{24},R_{30},D_2) care îmbunătățește foarte mult funcționarea acestui al doilea amplificator diferențial – etajul pilot. Soluția cea mai elegantă a acestui montaj o reprezintă însă realizarea sarcinii amplificatorului diferențial de tip oglindă de curent, formată de fapt de cele două oglinzi de curent identice conținute de circuitul integrat CA 3045. S-a ales utilizarea circuitului integrat deoarece cele două oglinzi de curent trebuie să conțină tranzistoare împerecheate, cu parametri identici. Această configurație a montajului implică posibilitatea realizării unei benzi de trecere a amplificatorului extrem de largă (fără filtrul RC de la intrare el „merge" liniar până la circa 700 kHz !), caracteristici de transfer practic liniare și a unor distorsiuni THD și TID extrem de reduse. Tranzistoarele T_5 și T_6 sunt amplasate în cadrul montajului ca amplificatoare de tensiune de tipul celor cu baza comună. Semnalul audio amplificat, preluat de acestea de la cele două oglinzi de curent, este aplicat în bazele tranzistoarelor T_{11}–T_{13} (conectate în paralel), și T_8–T_{10} (tot în paralel), care reprezintă tranzistoarele etajului final.

Analizând funcționarea tranzistoarelor T_5 și T_6 din punctul de vedere al semnalului audio alternativ amplificat, se observă că, de fapt, T_5 amplifică semialternanța pozitivă, iar T_6 semialternanța negativă. Diodele D_8 și D_9 au fost prevăzute în cadrul montajului ca protecție electronică a etajului final, de tipul celei cu limitare de tensiune (se limitează nivelul maxim al tensiunii aplicate pe grilele tranzistoarelor finale). Reglajele amplificatorului încep cu stabilirea la ieșirea acestuia a potențialului „OV", acționând cursorul potențiometrului semireglabil R_{31}. Curentul de mers în gol I_0 = 100 mA este asigurat de configurația și polarizarea etajului final al amplificatorului, polarizat în clasa AB de funcționare. Se aplică la ieșirea amplificatorului o sarcină rezistivă R_N = 20 Ω/10 W, și la intrarea lui un semnal 20 kHz/500 mV sinus,(cu posibilitatea reglajului de nivel). Cu ajutorul unui osciloscop și al unui distorsiometru, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_{14} se urmărește obținerea în sarcină a unei sinusoide perfecte, cu un procent de distorsiuni minim (sub 0,01%).



Nota:
-T6=2N2222;
-T5=MPSU03;
-T3,T4=MPSU56 sau MM4033.

Figura 2.45

În **figura 2.46.** este prezentată altă schemă electrică a unui amplificator de 40 W realizată de această dată cu tranzistoare de putere MOSFET complementare.

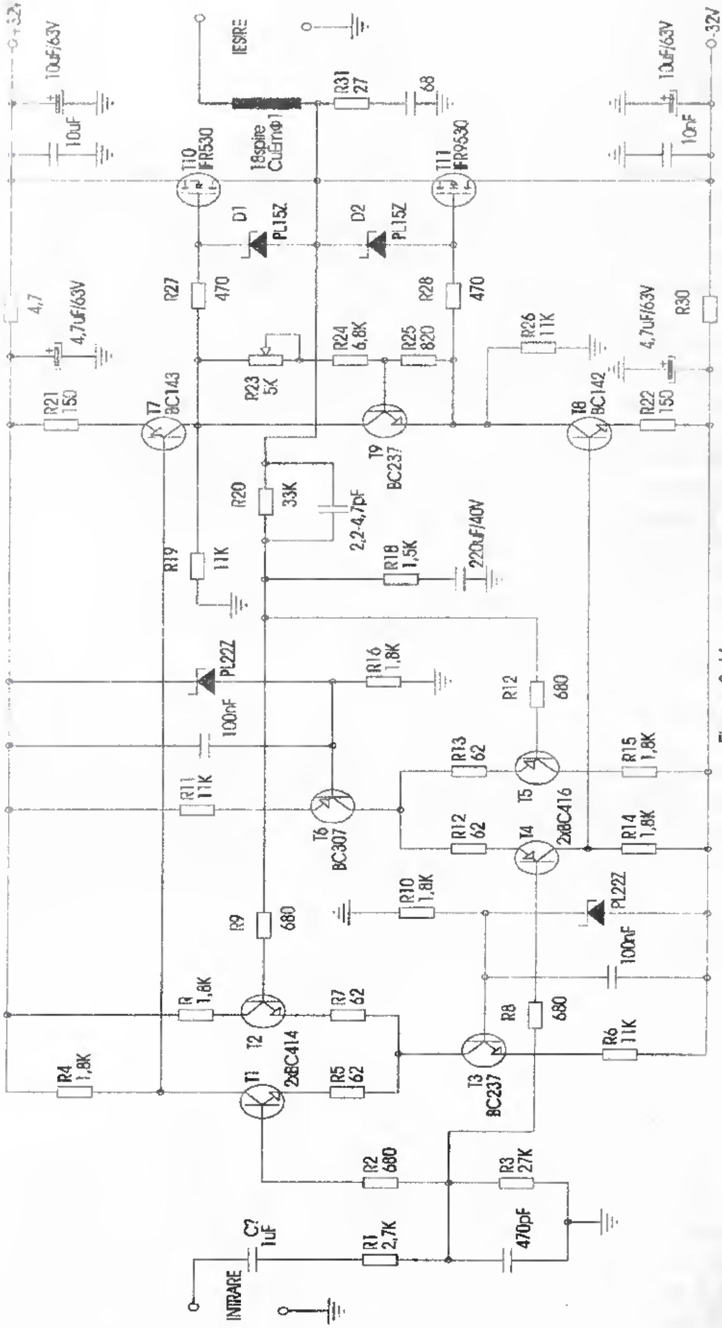


Figura 2.46

Montajul deține următoarele performanțe:

P_N = 40 W;
Z_i = 27 kΩ;
Z_e = 4 Ω;
U_i = 450 mV;
U_A = ± 32 V;
Δf = 15 Hz ÷ 25 kHz;
S/N ≥ 75 dB;
SR = 15 V/μs;
THD < 0,1%;
TID ≤ 0,02%.

Analizând schema electrică a montajului, se observă că acesta este de tipul celor cu simetrie complementară. Cele două amplificatoare diferențiale care includ tranzistoarele T_1T_2 și T_4T_5 îndeplinesc funcția etajului de intrare și totodată a amplificatorului de tensiune, pentru fiecare dintre cele două semialternanțe ale semnalului audio de intrare. În scopul optimizării funcționării celor două amplificatoare diferențiale, au fost prevăzute ca rezistență echivalentă comună din emitoare câte un generator de curent constant, realizat fiecare cu tranzistoarele T_3 și T_6. Tranzistoarele T_7 și T_8 îndeplinesc rolul etajului pilot pentru semnalul audio amplificat de cele două amplificatoare diferențiale. Tranzistorul T_9 realizează funcția sursei de tensiune constantă de tip superdiodă, necesară polarizării în clasa AB a etajului final. Acesta este alcătuit din două tranzistoare de putere complementare T_{10} și T_{11}, de tip MOSFET. Protecția electronică a etajului final este de tipul celor cu limitare de tensiune (limitarea tensiunii din grilele tranzistoarelor T_{10} și T_{11} de diodele Zenner D_1 și D_2). Reglajele amplificatorului constau în stabilirea curentului de mers în gol I_0 = 80 mA, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_{23}. Tensiunea „OV" de la ieșirea montajului (în regim static de funcționare) este asigurată automat de către configurația schemei electrice. Se menționează că fiecare pereche de tranzistoare care fac parte din cele două amplificatoare diferențiale trebuie să aibă același factor de amplificare în curent h_{21E} ≥ 350.

A.A.F. de 50 W

Schema electrică a amplificatorului de 50 W este prezentată în **figura 2.47**. Montajul îmbină avantajele simplității cu folosirea completă a configurației și a posibilităților acestui tip de schemă electrică. Amplificatorul deține următoarele performanțe:

P_N = 50 W;
Z_i = 65 kΩ;
Z_e = 4 Ω;
U_i = 350 mV;
U_A = ± 55 V;
Δf = 30 Hz ÷ 25 kHz;
S/N ≥ 75 dB;
THD ≤ 0,08% (f = 10 kHz);
TID ≤ 0,03%.

Semnalul de intrare se aplică prin intermediul condensatorului C_1 etajului de intrare, care conține tranzistorul T_1. Filtrul trece-jos R_1C_3 elimină din start eventualele componente de frecvență ultrasonoră ale semnalului audio. Polarizarea tranzistorului T_1 este realizată de grupul $R_2R_3R_4R_5$. Grupul $R_7D_1C_2$ a fost prevăzut pentru un filtraj suplimentar al tensiunii de alimentare U_A. Concomitent, grupul D_1C_2 reprezintă un rezervor de energie electrică necesar păstrării neschimbate a polarizării tranzistorului T_1, indiferent de micile variații ale tensiunii de alimentare (poate scădea cu circa 0,5–1,5 V în momentul depășirii pentru scurte durate de timp a puterii nominale livrate). În acest fel se asigură o funcționare extrem de eficientă a etajului de intrare, în

...ului regim de funcționare al amplificatorului. Din colectorul tranzistorului T_1, semnalul audio amplificat este transmis galvanic în baza tranzistorului T_3, care realizează funcția etajului pilot.

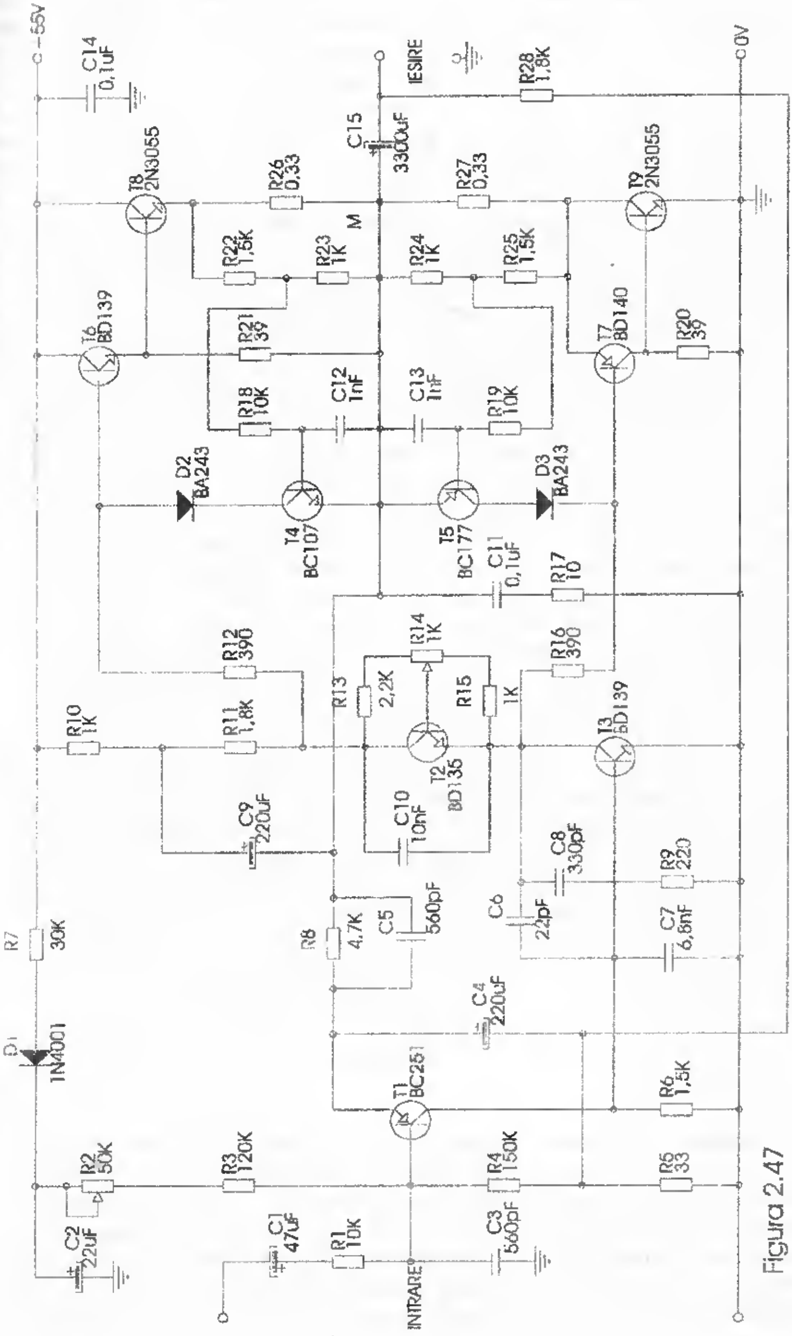


Figura 2.47

Sarcina lui o reprezintă grupul $R_{10}R_{11}C_9$ – conexiune bootstrap care îi optimizează funcționarea. Polarizarea etajului final al amplificatorului se realizează cu ajutorul unei surse de tensiune constantă de tip super-diodă, care include tranzistorul T_2. Etajul final este alcătuit din doi dubleți complementari, și anume: dubletul NPN de tip Darlington, format din tranzistoarele T_6T_8 și dubletul PNP de tip Super-G, format din tranzistoarele T_7T_9. Protecția amplificatorului la depășirea puterii nominale ($P \geq 1{,}25\ P_N$) este de tipul celor cu limitare de curent. Ea este realizată cu ajutorul tranzistoarelor T_4, T_5 și al componentelor electrice aferente (D_2D_3, R_{18}, R_{19}, R_{22}, R_{23}, R_{24} și R_{25}). Grupurile $R_{18}C_{12}$ și $R_{19}C_{13}$ au fost prevăzute pentru acționarea protecției electronice cu o întârziere de circa 10 ms. În acest fel se evită acționarea protecției electronice în momentul unor regimuri tranzitorii normale de lucru ale amplificatorului ($P \geq 1{,}2P_N$) la scurte depășiri ale puterii nominale. Forma de undă a semnalului audio nu mai este distorsionată (distorsiune de tip CLIPPING) datorită acestei precauții. Funcționarea optimă a amplificatorului este asigurată de o serie de bucle de reacție judicios amplasate. Amplificarea generală a montajului este reglementată de grupul $R_8C_4R_5$ – reacția negativă globală ($A = 1 + R_8/R_5$). Condensatorul C_5 limitează amplificarea montajului în domeniul frecvențelor ultrasonore. Același lucru îl realizează condensatoarele C_6, C_7, și grupul C_8R_9 – reacții negative locale. Rezistența R_{28} realizează o reacție pozitivă subunitară, ce optimizează funcționarea în sarcină a amplificatorului. Grupul $C_{11}R_{17}$ reprezintă un filtru de tip Bucherot care aduce un plus de stabilitate în funcționare amplificatorului (reduce la minim posibilitatea de oscilație). Rezistențele R_{12} și R_{16} contribuie la egalizarea performanțelor celor doi dubleți complementari de tipuri diferite din etajul final (Darlington și Super-G). Reglajele amplificatorului încep cu stabilirea în punctul median M a tensiunii de valoare $U_A/2$, acționând cursorul potențiometrului semireglabil R_2. Urmează stabilirea valorii curentului de mers în gol $I_0 = 100$ mA, acționând cursorul potențiometrului semireglabil R_{14}. După aceste reglaje, se aplică la ieșirea amplificatorului o rezistență de sarcină $R_S = 4\ \Omega/50$ W, și ulterior la intrarea sa un semnal sinusoidal cu frecvența de 18 kHz, provenit de la un generator de audiofrecvență. Se oscilografiază forma de undă a tensiunii de la bornele rezistenței de sarcină, și dacă este necesar (mici distorsiuni de neracordare) se mai mărește puțin valoarea curentului de mers în gol până la obținerea unei sinusoide perfecte (THD ≤ 0,08%). Pentru o măsurătoare perfectă a procentului de distorsiuni este indicată utilizarea unui distorsiometru.

Un alt montaj cu performanțe asemănătoare are reprezentată schema electrică în **figura 2.48.** Performanțele lui sunt următoarele:

$P_N = 50$ W;	$\Delta f = 16$ Hz ÷ 34 kHz;
$Z_i = 50$ kΩ;	S/N ≥ 75 dB;
$Z_e = 4\ \Omega$;	THD ≤ 0,1% (f = 1 kHz, P = 50 W);
$U_i = 500$ mV;	TID ≤ 0,02%.
$U_A = \pm 34$ V;	

Se observă că de această dată etajul de intrare este de tipul amplificatoarelor de tensiune diferențiale. Semnalul de intrare se aplică etajului de intrare ce conține tranzistoarele T_1T_2, în baza tranzistorului T_1, prin intermediul condensatorului C_1. Semnalul audio amplificat este preluat din colectorul tranzistorului T_1 și aplicat galvanic în baza tranzistorului T_3 care formează etajul pilot. Celelalte etaje funcționale ale amplificatorului au o structură similară cu cea a amplificatorului prezentat anterior. Se mai remarcă cele două conexiuni bootstrap $R_9C_7R_{10}$ și $R_{14}C_8R_{15}$, care îmbunătățesc

foarte mult funcționarea etajului pilot în ceea ce privește banda de frecvență de lucru, caracteristicile de transfer și procentul (minim) de distorsiuni THD și TID.

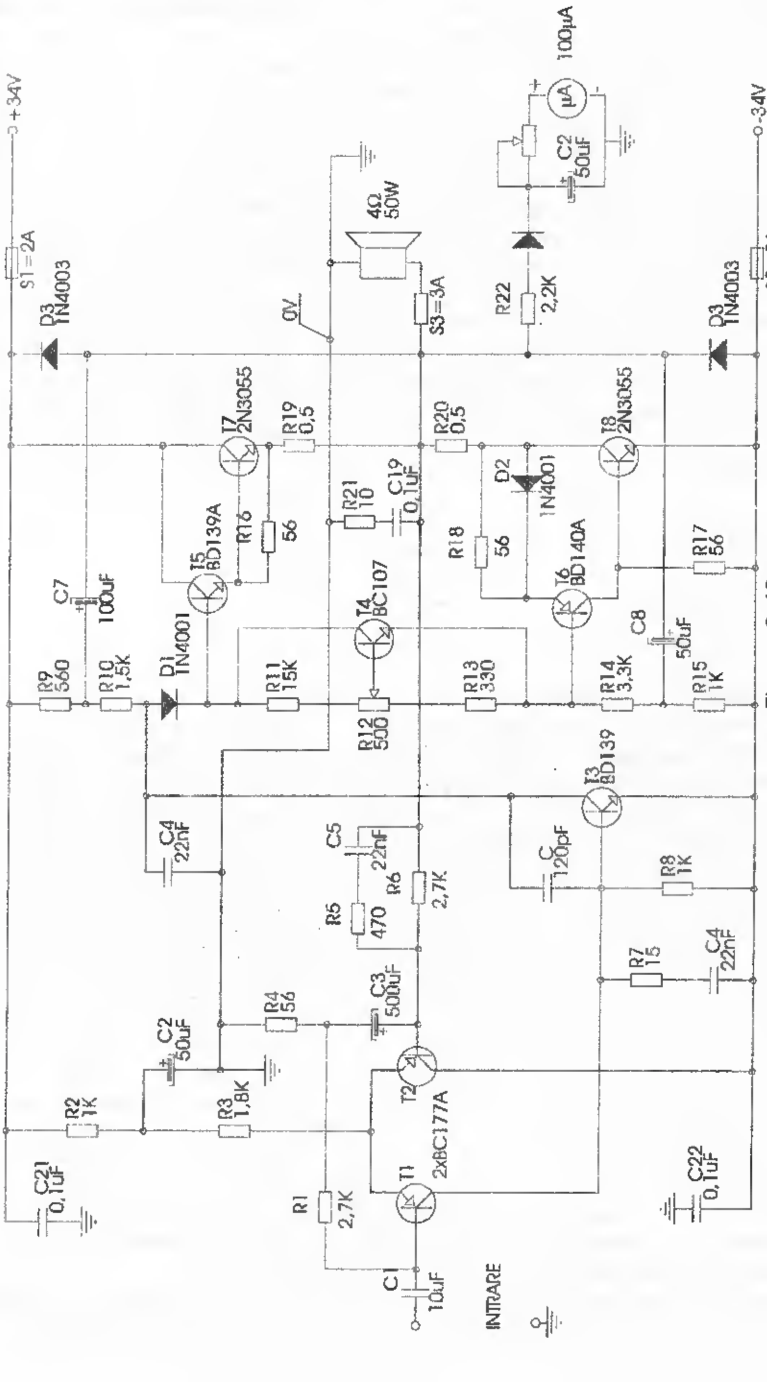


Figura 2.48

Se mai observă că amplificatorul include în componența sa și un indicator de nivel al puterii de ieșire, realizat cu ajutorul unui microampermetru cu domeniul maxim 100 μA.

Nivelul tensiunii de ieșire (deci practic nivelul puterii de ieșire) este în permanență sesizat de grupul D_5C_{20}. El realizează o redresare monoalternanță a tensiunii de ieșire (semialternanțele pozitive ale semnalului audio amplificat). Rezistența R_{23} este amplasată în scopul reglajului cap de scală pentru microampermetre. Reglajele montajului încep cu stabilirea valorii curentului de mers în gol I_0 = 80 mA, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_{12}. Configurația schemei electrice proprii acestui montaj nu necesită reglajul „zero V" din punctul median – ieșirea montajului (lucru realizat automat). Se amplasează la ieșirea montajului o rezistență de sarcină R_S = 100Ω/3 W, iar la intrarea lui se aplică un semnal electric sinusoidal cu frecvența de 1 kHz. Se mărește nivelul tensiunii de intrare până când la ieșirea montajului se obține o tensiune alternativă de 14 V_{RMS} (40 V_{VV}). Se acționează cursorul potențiometrului semireglabil R_{23} până ce indicația microampermetrului ajunge la capătul scalei (puterea nominală). După efectuarea reglajelor, cursoarele celor două potențiometre semireglabile se rigidizează folosind câte o picătură de vopsea.

Un alt amplificator de 50 W, mult mai perfecționat decât cel prezentat anterior, deține schema electrică prezentată în **figura 2.49**. Performanțele amplificatorului sunt următoarele:

P_N = 50 W;	Δf = 14 Hz ÷ 22 kHz;
Z_i = 100 kΩ;	S/N ≥ 85 dB;
Z_e = 8 Ω;	SR = 12 v/μs;
U_i = 250 mV;	THD ≤ 0,03%;
U_A = ± 45 V;	TID ≤ 0,004%.

Față de montajele prezentate până acum, se observă că etajul de intrare de tip amplificator diferențial de tensiune este realizat cu ajutorul unui circuit integrat ce conține două tranzistoare identice de tip FET. În sursele celor două tranzistoare, prin intermediul rezistențelor R_5R_7, este amplasat un generator de curent constant, care conține tranzistorul T_3. Acest amplasament, așa cum s-a văzut și anterior la celelalte amplificatoare, îmbunătățește foarte mult funcționarea etajului de intrare. Urmează o cascadă de încă două amplificatoare diferențiale – etajele amplificator de tensiune și pilot, realizate cu tranzistoarele T_4T_5 și T_6T_7. Tranzistorul T_8 realizează o inversare de fază a semnalului audio amplificat de către tranzistorul T_6, necesară excursiei maxime în tensiune a semnalului ce urmează a fi amplificat în putere de dubleții complementari ai etajului final. Ei sunt de tip Darlington, realizați cu tranzistoarele $T_{10}T_{12}$ (secțiunea NPN) și $T_{11}T_{13}$ (secțiunea PNP). Polarizarea în clasa de funcționare AB a etajului final este realizată de către tranzistorul T_9, amplasat în montajul de tip superdiodă. Protecția electronică a amplificatorului la suprasarcină (P > 1,25 P_N) este de tipul celor cu limitare de curent, fiind realizată cu ajutorul tranzistoarelor T_{14}, T_{15} și al componentelor electrice aferente. Reglajele montajului încep cu stabilirea valorii „zero V" în punctul median (ieșirea montajului) prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil P_1. Valoarea curentului de mers în gol I_0 = 100 mA se stabilește prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil P_2. Realizat și reglat corespunzător, acest amplificator va satisface pretențiile cele mai exigente ale amatorilor de audiții HI-FI.

De multe ori se dorește ca, având o sursă de tensiune destinată alimentării amplificatorului de valoare redusă, să se obțină totuși o putere nominală mare.

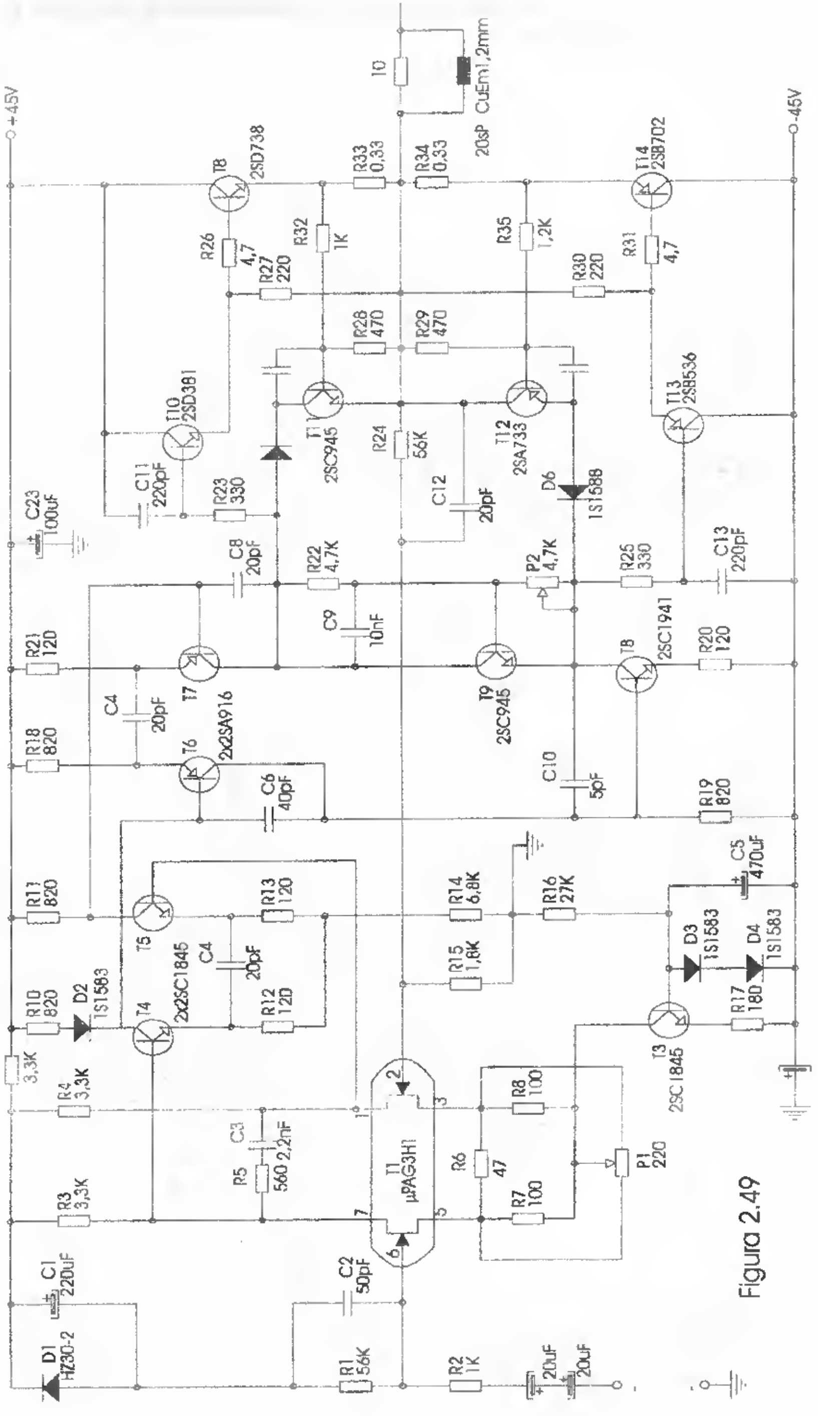

+45V
-45V
T8 2SD738
T14 2SB702
T10 2SD381
T13 2SB536
T11 2SC945
T12 2SA733
T7
T6 2x2SA916
T9 2SC945
T8 2SC1941
T5
T4 2x2SC1845
T3 2SC1845
T1 µPAG3H1
R33 0,33
R34 0,33
10
CuEm1,2mm
20sP
R26 4,7
R27 220
R32 1K
R35 1,2K
R30 220
R31 4,7
R28 470
R29 470
R24 56K
C12 20pF
D6 1S1588
C11 220pF
R23 330
C23 100uF
C8 20pF
R22 4,7K
P2 4,7K
R25 330
C13 220pF
R21 120
C9 10nF
R20 120
R18 820
C4 20pF
C6 40pF
C10 5pF
R19 820
R11 820
R13 120
R14 6,8K
R16 27K
C5 470uF
D3 1S1583
D4 1S1583
R10 820
D2 1S1583
R15 1,8K
R12 120
R17 180
R9 3,3K
R4 3,3K
R8 100
C3 2,2nF
R5 560
R6 47
P1 220
R3 3,3K
R7 100
C1 220uF
C2 50pF
D1 HZ30-2
R1 56K
R2 1K
20uF
20uF

Figura 2.49

În acest sens este prezentat amplificatorul cu schema electrică din **figura 2.50**. El deține următoarele performanțe:

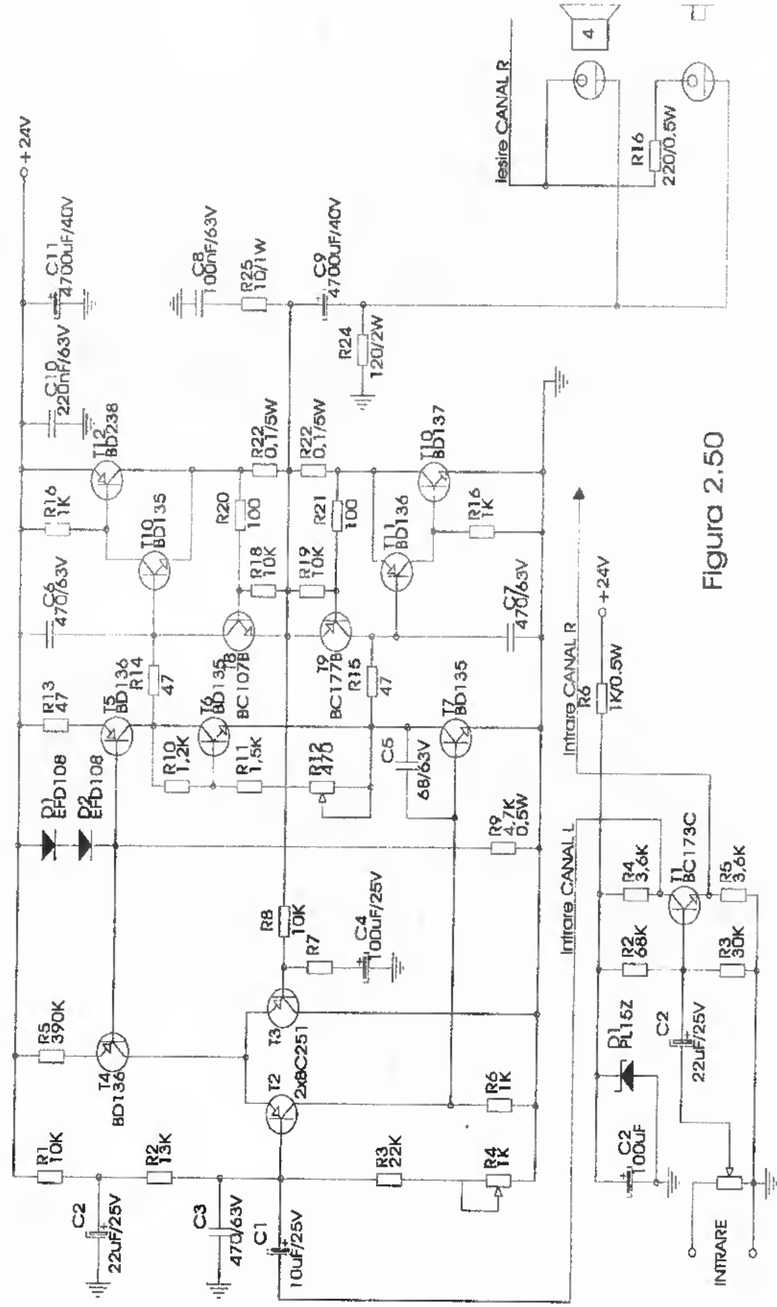


Figura 2.50

P_N = 50 W;
Z_i = 22 kΩ;
Z_e = 4 Ω;
U_i = 400 mV;
U_A = + 24 V;

Δf = 40 Hz ÷ 25 kHz;
S/N ≥ 75 dB;
THD ≤ 0,1%;
TID ≤ 0,04%.

Analizând schema electrică a montajului, se observă că de fapt avem în față două amplificatoare identice de 25 W, amplasate într-un montaj de tip punte. Noutatea constă în prezența etajului defazor, realizat cu ajutorul tranzistorului T_1 și al componentelor electrice aferente. El are rolul de a genera două semnale audio identice ca amplitudine, dar defazate cu 180° unul față de celălalt. Ele se preiau din colectorul și emitorul tranzistorului T_1, aplicându-se ulterior la intrările celor două amplificatoare de putere. Se observă că sarcina acestora (incinta acustică) este conectată galvanic între cele două ieșiri. Datorită acestei configurații, prin sarcină trece curentul nominal al celor două amplificatoare, dar excursia echivalentă în tensiune va fi dublă față de cea realizată de un singur amplificator. Datorită acestui considerent puterea efectivă de ieșire a montajului se dublează. Reglajele constau în asigurarea, pentru fiecare dintre cele două amplificatoare identice conectate în montajul punte, a următorilor parametrii statici de funcționare:

– curentul de mers în gol I_0 = 70 mA, prin acționarea cursoarelor potențiometrelor semireglabile P_{12} și $P_{12'}$.

– valoarea tensiunii $U_A/2$ = 12 V în punctele mediane (cu precizie de 1%) prin acționarea cursoarelor potențiometrelor semireglabile P_4 și P'_4.

Ulterior se conectează la ieșirea montajului o rezistență de 20 Ω/3 W înseriată cu un miliampermetru (conectat inițial pe domeniu mare de măsură – circa 500 mA). Prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil P_5, se urmărește reducerea la zero (practic la câțiva miliamperi) a curentului prin sarcină. Se rigidizează ulterior cu vopsea toate cele cinci cursoare ale potențiometrelor semireglabile. A nu se uita că, înainte de începerea reglajelor, intrările celor două amplificatoare de putere identică să fie conectate la masa montajului (din punct de vedere al semnalului alternativ) prin intermediul a două condensatoare de 1 μF neelectrolitice.

A.A.F. de 60 W

Schema electrică a amplificatorului de 60 W – varianta I - este prezentată în **figura 2.51**. Montajul deține următoarele performanțe:

P_N = 60 W;
Z_i = 82 kΩ;
Z_e = 4 Ω;
U_i = 450 mV;
U_A = ± 28 V;

Δf = 18 Hz ÷ 24 kHz;
S/N ≥ 70 dB;
SR = 8 V/μs
THD ≤ 0,06%
TID ≤ 0,02%.

Analizând schema electrică prezentată în **figura 2.51.** se observă că etajul de intrare este alcătuit sub forma unui amplificator diferențial de tensiune, care are prevăzut în emitoarele conectate galvanic, proprii tranzistoarelor T_1 și T_2 (un generator de curent constant realizat cu tranzistorul T_3 și componentele electrice aferente ($D_1D_2R_3R_4$).

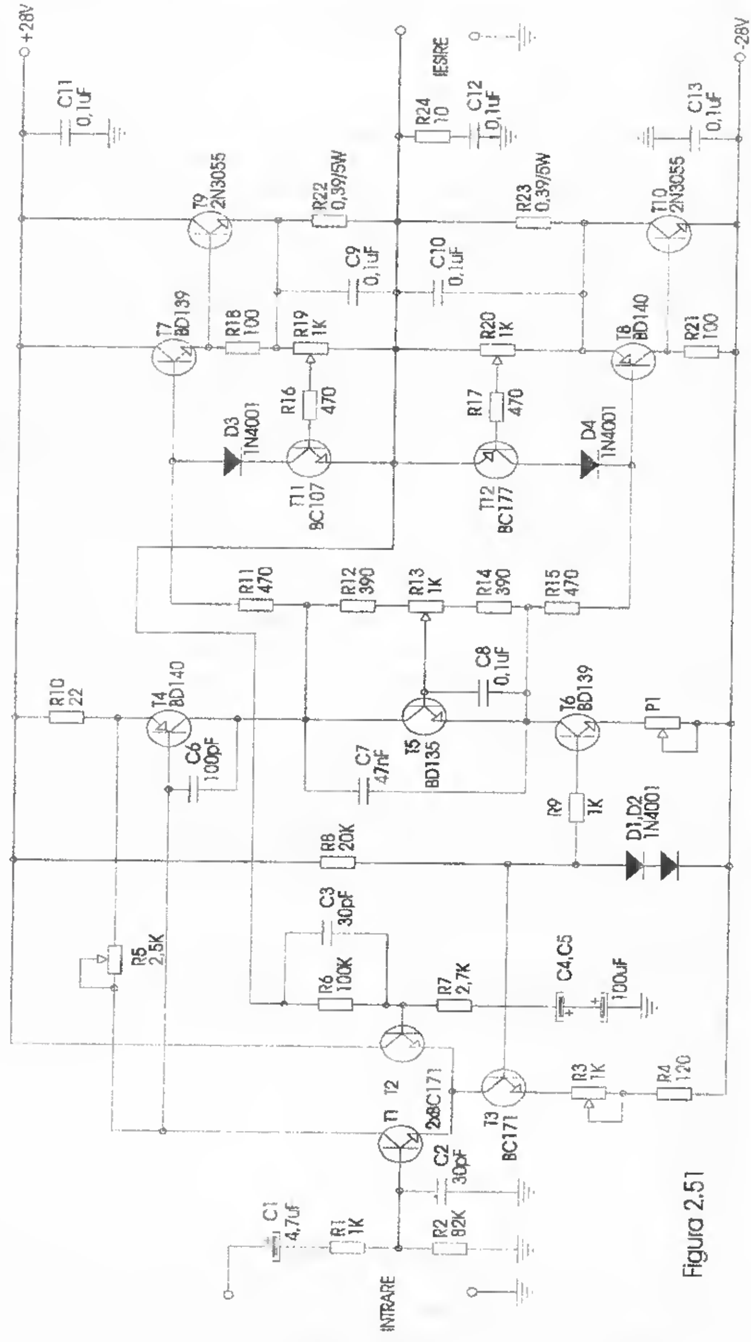
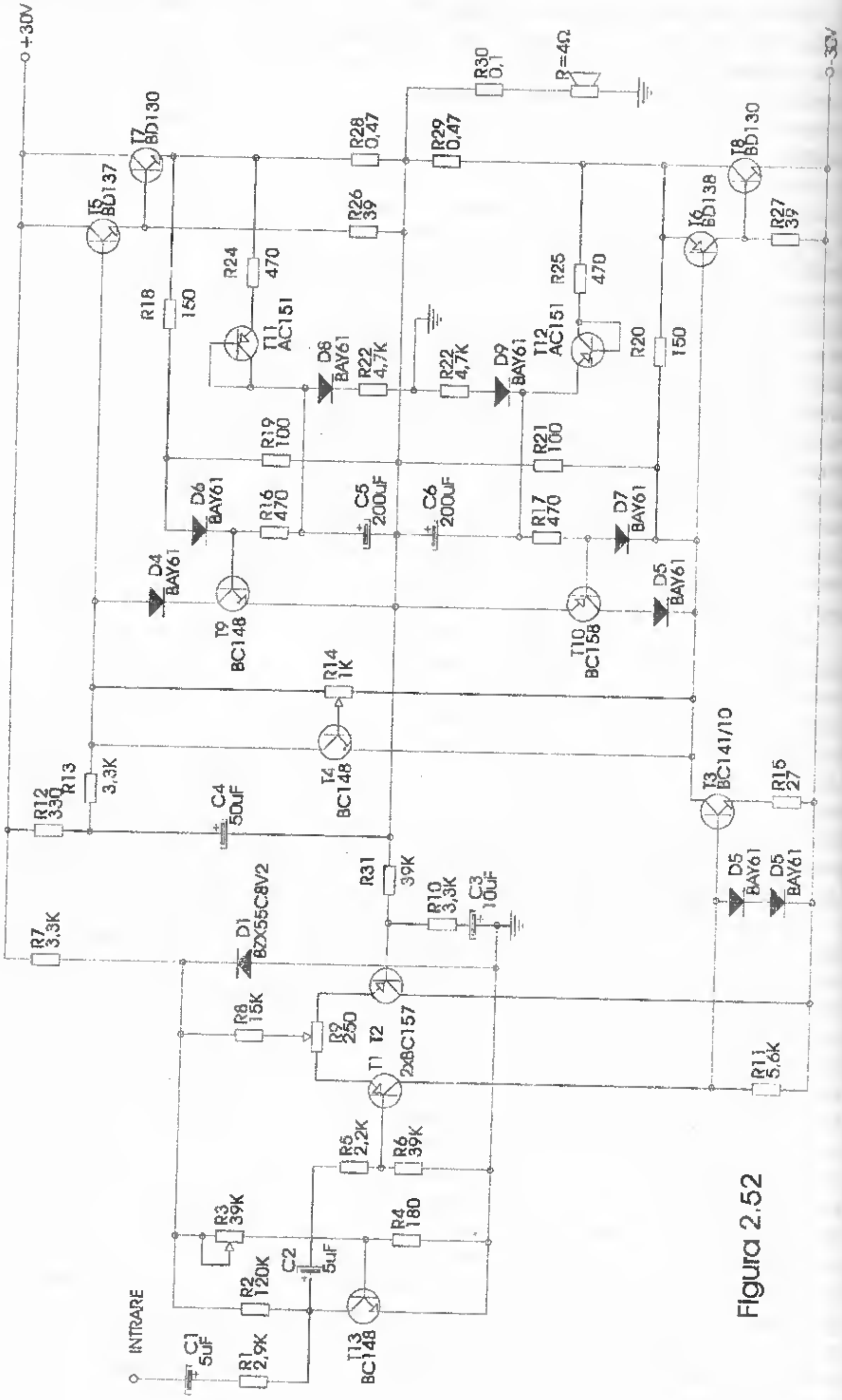

+28V
-28V
IESIRE
INTRARE
C11 0,1uF
C12 0,1uF
C13 0,1uF
R24 10
T9 2N3055
T10 2N3055
R22 0,39/5W
R23 0,39/5W
C9 0,1uF
C10 0,1uF
T7 BD139
T8 BD140
R18 100
R19 1K
R20 1K
R21 100
R16 470
R17 470
D3 1N4001
D4 1N4001
T11 BC107
T12 BC177
R11 470
R12 390
R13 1K
R14 390
R15 470
R10 22
T4 BD140
C6 100pF
C8 0,1uF
T5 BD135
C7 47nF
T6 BD139
P1
R9 1K
D1,D2 1N4001
R8 20K
C3 30pF
R5 2,5K
R6 100K
R7 2,7K
C4,C5 100uF
T1 T2 2xBC171
T3 BC171
R3 1K
R4 120
C2 30pF
C1 4,7uF
R1 1K
R2 82K

Figura 2.51

Semnalul audio se aplică la intrarea neinversoare a amplificatorului diferențial (baza tranzistorului T_1) prin intermediul condensatorului C_1 și al filtrului $R_1R_2C_2$, a cărui utilitate s-a menționat până acum – rejecția componentelor ultrasonore. Semnalul audio amplificat este preluat din colectorul tranzistorului T_1 și aplicat galvanic în baza tranzistorului T_4, care realizează funcția etajului pilot. Sarcina lui o constituie un al doilea generator de curent constant, realizat cu tranzistorul T_6. Sursa de tensiune constantă necesară polarizării în clasa AB de funcționare a tranzistoarelor din etajul final este realizată cu ajutorul tranzistoarului T_5 și al grupului $R_{12}R_{13}R_{14}C_8$. Se remarcă prezența condensatorului C_8, care oferă un plus de stabilitate în funcționarea acestui montaj de tip superdiodă. Etajul final conține dubleții complementari T_7T_9 (dubletul NPN de tipul Darlington) și T_8T_{10} (dubletul PNP de tip Super-G). La ieșirea montajului se mai remarcă prezența filtrului Bucherot, realizat cu ajutorul grupului $R_{24}C_{12}$, care sporește stabilitatea în funcționare a amplificatorului (elimină pericolul apariției oscilațiilor). Tot din acest considerent a fost prevăzut în bucla de reacție negativă globală $R_6R_7C_4C_5$, care definește amplificarea generală a montajului ($A = 1 + R_6/R_7$), și condensatorul C_3. Prezența lui limitează în același timp amplificarea montajului în domeniul frecvențelor ultrasonore. Protecția electronică a amplificatorului este de tipul celor cu limitare de curent ($P > 1,25P_N$). Ea conține tranzistoarele T_{11}, T_{12} și componentele electrice aferente ($D_3D_4R_{16}R_{17}R_{19}R_{20}C_9C_{10}$). Condensatoarele C_9C_{10} impun o valoare convenabilă a constantei de timp de 10 ms, necesare în funcționarea protecției la regimurile tranzitorii (evitarea clippingului semnalelor de amplitudine mare și foarte scurtă durată).

Reglajele amplificatorului încep cu stabilirea unui curent de 1 mA livrat de generatorul de curent constant ce alimentează amplificatorul diferențial de intrare, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_3 (deci, practic 1 mA prin colectorul tranzistorului T_3). Urmează stabilirea unui curent de 12 mA prin etajul pilot (colectorul tranzistorului T_4) acționând cursorul potențiometrului semireglabil P_1. Urmează stabilirea potențialului electric „zero V" la ieșirea montajului, acționând cursorul potențiometrului semireglabil R_5. Valoarea curentului de mers în gol $I_0 = 70$ mA se stabilește prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_{13}. Reglajul protecției electronice se face la fel ca la montajele de acest gen prezentate anterior. După aceste reglaje amplificatorul va funcționa la parametrii nominali menționați inițial.

Un alt montaj, ai cărui parametri sunt extrem de asemănători cu cei ai amplificatorului prezentat anterior, deține schema electrică din **figura 2.52**. Se remarcă etajul de protecție termică al amplificatorului, realizat cu ajutorul tranzistorului T_{13}. Prin intrarea sa în stare de conducție, determinată practic de încălzirea termistorului R_3 (montat pe radiatorul comun al tranzistoarelor T_7T_8) el blochează amplificarea semnalului audio de intrare. Acest lucru se petrece în momentul încălzirii excesive a tranzistoarelor finale (deci funcționare în regim $P > 1,25\ P_N$ de lungă durată). Etajul de intrare este de tip amplificator diferențial de tensiune, conținând tranzistoarele T_1T_2. Etajul pilot include tranzistorul T_3, care are ca sarcină conexiunea bootstrap formată din grupul $R_{12}C_4R_{13}$. Polarizarea etajului final (care include dubleții T_5T_7 și T_6T_8) este realizată de sursa de tensiune constantă de tip superdiodă, care conține tranzistorul T_4. Funcționarea amănunțită a acestor blocuri electronice a fost prezentată până acum. Protecția electronică la suprasarcină este de tipul celor cu limitare de curent (include tranzistoarele T_9 și T_{10}). Amplificarea generală a montajului este reglementată de o buclă de reacție negativă globală, în care sunt incluse componentele $R_{31}R_{10}C_3$ ($A = 1 + R_{31}/R_{10}$). Reglajele amplificatorului constau în realizarea potențialului „zero V" la ieșire, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_9.


+30V
-30V
INTRARE
C1 5uF
R1 2,9K
R2 120K
R3 39K
C2 5uF
T13 BC148
R4 180
R5 2,2K
R6 39K
R7 3,3K
D1 BZX55C8V2
R8 15K
R9 250
T1 T2 2xBC157
R10 3,3K
C3 10uF
R11 5,6K
R31 39K
R12 330
R13 3,3K
C4 50uF
T4 BC148
R14 1K
T3 BC141/10
R15 27
D5 BAY61
D4 BAY61
T9 BC148
T10 BC158
D6 BAY61
D7 BAY61
R16 470
R17 470
C5 200uF
C6 200uF
R19 100
R21 100
R18 150
R20 150
D8 BAY61
D9 BAY61
R22 4,7K
T11 AC151
T12 AC151
R24 470
R25 470
T5 BD137
T6 BD138
T7 BD130
T8 BD130
R26 39
R27 39
R28 0,47
R29 0,47
R30 0,1
R=4Ω
Figura 2.52

Urmează stabilirea valorii curentului de mers în gol I_0 = 75 mA, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_{14}. Protecția electronică are elementele astfel dimensionate (valorile rezistențelor) încât să acționeze la depășirea puterii nominale livrate de amplificator (P > 1,2 P_N).

A.A.F. de 75 W

Schema electrică a amplificatorului este prezentată în **figura 2.53**. Performanțele montajului sunt următoarele:

P_N = 75 W;	f = 18 Hz ÷ 39 kHz;
Z_i = 25 kΩ;	S/N ≥ 90 dB;
Z_o = 8 Ω;	SR = 25 V/μs;
U_i = 1 V;	THD ≤ 0,01%;
U_A = ± 40 V;	TID ≤ 0,003%.

Soluția tehnică adoptată pentru acest amplificator impune performanțe electrice deosebite. Se observă folosirea unui etaj de intrare dotat cu amplificatoare diferențiale specializate la amplificarea separată a fiecărei semialternanțe proprii semnalului de intrare. Protecția amplificatorului este de tipul celor cu limitare de curent. Stabilirea potențialului electric „zero V" la ieșirea montajului (în punctul A) se face automat, datorită configurației alese pentru schema electrică. Reglajul curentului de mers în gol I_0 = 80 mA se face acționând cursorul potențiometrului semireglabil R_{23}.

Datorită condițiilor de lucru deosebite în ceea ce privește puterea nominală livrată de amplificator la parametrii specificați inițial, s-au prevăzut protecții suplimentare, atât în privința celor două surse de tensiune care alimentează montajul, cât și la ieșirea amplificatorului. Protecția este realizată de către siguranțele fuzibile F_1, F_2 și F_3 dimensionate corespunzător. În scopul prevenirii amplificării semnalelor electrice de frecvență ultrasonoră, care ar putea apărea în spectrul semnalului audio de intrare, bucla de reacție negativă globală, care reglementează amplificarea generală, include o serie de elemente suplimentare amplasate potrivit considerentului menționat anterior. Tot în același scop la intrarea amplificatorului este amplasat filtrul trece-jos R_1C_1.

Pe partea de alimentare a etajelor de intrare și pilot s-au amplasat grupurile D_1C_{10} și D_4C_{15}. Ele constituie rezervoare de energie electrică, prevăzute în scopul prevenirii scăderii tensiunii de alimentare destinată etajelor funcționale menționate anterior, în momentul livrării de către amplificator a puterii maxime. Ca urmare a acestui fapt, etajele de intrare (cele două amplificatoare diferențiale care conțin tranzistoarele T_1T_2 și T_3T_4), și etajul pilot (care de această dată conține tranzistoarele T_5T_8, care lucrează alternativ pentru fiecare semialternanță a semnalului audio amplificat) sunt în permanență alimentate cu energie electrică furnizată la o tensiune constantă. Acest fapt impune în final funcționarea generală a amplificatorului la parametrii prezentați inițial. Se recomandă realizarea practică la modul cel mai compact a amplificatorului, folosind plăcuțe de cablaj imprimat cu traseele dintre componente cât mai scurte. Se impune sortarea inițială a tranzistoarelor, astfel încât grupurile T_1T_2, T_3T_4, $T_{10}T_{12}$ și $T_{11}T_{13}$ să prezinte același factor de amplificare în curent h_{21E}. Un alt amănunt esențial pentru buna funcționare a amplificatorului îl constituie alimentarea acestuia de la o sursă de energie electrică, astfel încât P_A > 1,7 P_N. Cele două ramuri de alimentare ±UA se dotează obligatoriu cu condensatoare de filtraj C = 4700 μF.

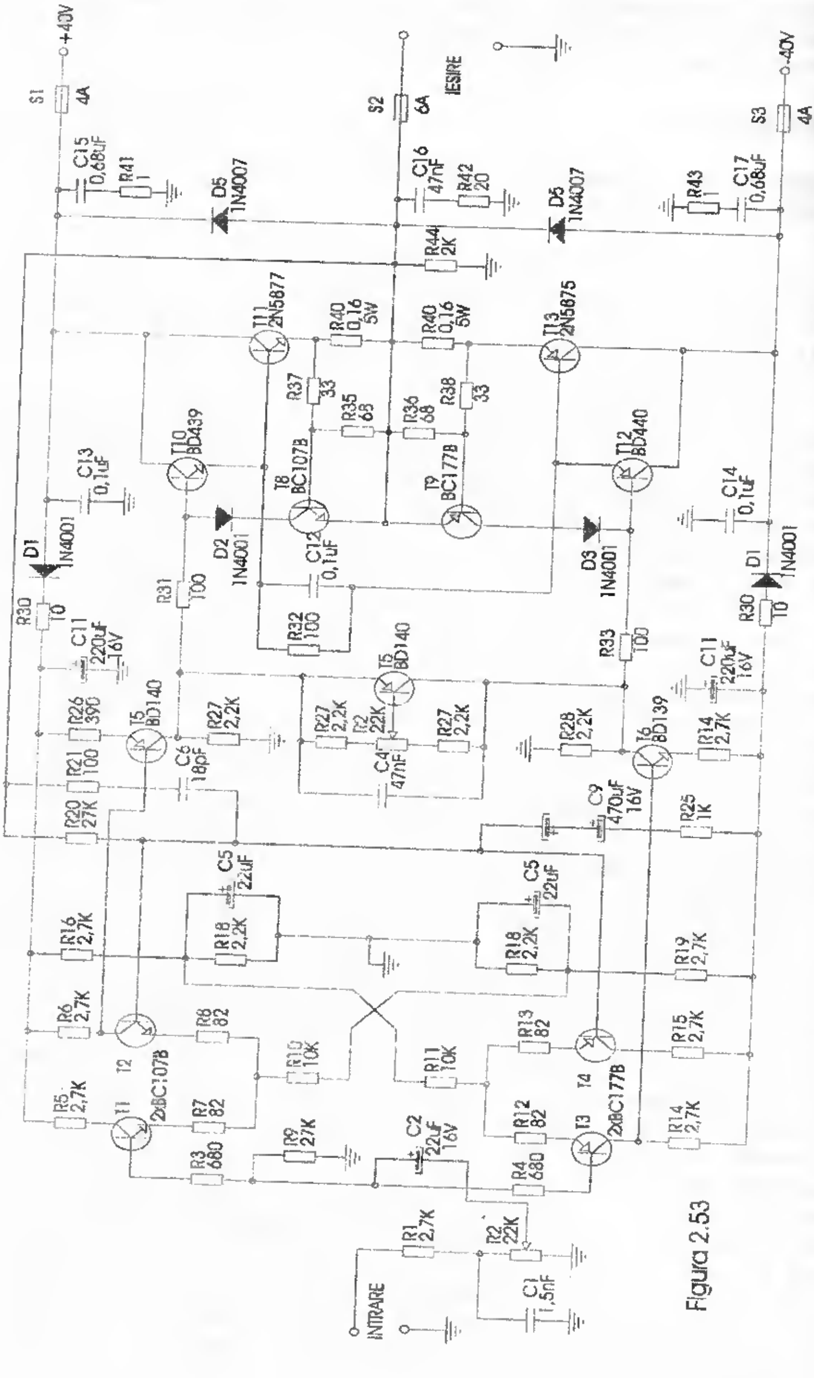

+40V
-40V
IESIRE
INTRARE
S1 4A
S2 6A
S3 4A
D5 1N4007
D1 1N4001
D2 1N4001
D3 1N4001
T11 2N5877
T13 2N5875
T10 BD439
T12 BD440
T8 BC107B
T9 BC177B
T5 BD140
T6 BD139
2xBC107B
2xBC177B
C15 0,68uF
C17 0,68uF
C16 47nF
C13 0,1uF
C14 0,1uF
C12 0,1uF
C11 220uF 16V
C6 18pF
C4 47nF
C9 470uF 16V
C5 22uF
C2 22uF 16V
C1 1,5nF
R40 0,16 5W
R44 2K
R42 20

Figura 2.53

A.A.F. de 80 (120) W

Schema electrică a amplificatorului este prezentată în **figura 2.54**. Montajul prezintă următoarele performanțe:

P_N = 80 W (120 W);
Z_i = 47 kΩ;
Z_e = 8 Ω (4 W);
U_i = 450 mV;
U_A = ± 42 V;
Δf = 18 Hz ÷ 26 kHz;
S/N ≥ 75 dB;
SR = 20 V/μs;
THD ≤ 0,4% (f = 15 kHz, P_N);
TID ≤ 0,03%.

Analizând schema electrică a amplificatorului, se observă că aceasta prezintă o configurație mai deosebită față de cele înfățișate până acum. Etajul de intrare este de tip amplificator diferențial, realizat cu ajutorul tranzistoarelor T_1 și T_2. În emitoarele lor este amplasat un generator de curent constant, realizat cu ajutorul tranzistorului T_3 și al componentelor electrice aferente ($R_5D_1D_2R_8$), configurație care, după cum s-a văzut anterior, îmbunătățește foarte mult calitățile funcționale ale amplificatorului diferențial (liniaritate a caracteristicilor de transfer, bandă foarte largă de frecvențe de lucru, distorsiuni THD și TID minime etc.). Din colectorul tranzistorului T_1, semnalul audio amplificat este transmis galvanic în baza tranzistorului T_4. Tranzistoarele T_4 și T_5, amplasate într-o conexiune de tip dublet super-G, formează etajul pilot. Sarcina lui o constituie generatorul de curent constant realizat cu ajutorul tranzistorului T_6. Așa cum s-a menționat și la montajele anterioare care prezintă o configurație de acest tip, acest amplasament permite realizarea unei excursii maxime în tensiune a semnalului audio amplificat, cu distorsiuni foarte mici, bandă largă de frecvențe de lucru și, fapt deosebit de important, o viteză mare de creștere a tensiunii – slew-rate mare. Acest lucru permite o funcționare foarte bună a amplificatorului în timpul regimurilor tranzitorii de lucru, impunând în final practic lipsa distorsiunilor TID. Dar cea mai elegantă soluție tehnică a acestui amplificator o constituie modul de realizare și polarizarea în clasa AB de funcționare a etajului final. În primul rând se identifică prezența celor doi tripleți complementari care există în orice etaj final de putere, și anume: tripletul NPN, format din tranzistoarele $T_7T_9T_{11}$ și tripletul PNP, format din tranzistoarele $T_8T_{10}T_{12}$. Se observă că alcătuirea celor doi tripleți complementari este perfect simetrică, iar tensiunea necesară polarizării lor este de circa $2V_{BE}$ (V_{BE} = tensiunea bază-emiter, de circa 0,7 V). Acest lucru se realizează deosebit de elegant cu ajutorul tranzistoarelor T_{13} și T_{14}, care împreună cu componentele electrice aferente ($R_{18}R_{21}R_{24}R_{25}$) formează o sursă de tensiune constantă care lucrează în regim flotant, cu parametri electrici deosebit de buni. Această configurație a montajului permite ca etajul pilot să lucreze cu curenți mici (circa 7–8 mA), fără a fi solicitat de către etajul final în privința curentului absorbit de cei doi tripleți complementari, în vederea amplificării ulterioare în curent a etajului final. Condiția este absolut necesară și pentru obținerea unui slew-rate ridicat, deoarece puterea nominală P_N a amplificatorului este destul de mare (80 W pentru Z_e = 8 Ω și 120 W pentru Z_e = 4 Ω), iar acesta trebuie să lucreze foarte bine și pentru semnalele audio de nivel mare și frecvență înaltă. Protecția amplificatorului la suprasarcină (P > 1,25 P_N) este de tipul celor cu limitare de curent. Ea include tranzistoarele T_{15} și T_{16}, funcționând la fel ca cele prezentate până acum. Amplificarea generală a montajului este reglementată de o buclă de reacție negativă ce include componentele electrice $R_9R_{37}C_5C_6R_7R_{10}$ ($A = 1 + R_9/R_7 \parallel R_{10}$). Se observă că s-a prevăzut potențiometrul semireglabil R_{10}, amplasat în paralel cu R_7, pentru un reglaj

final al amplificării generale proprii montajului. Grupurile R_2C_2, C_5R_{37}, condensatoarele C_3 și C_4, C_8 și C_9 și filtrul Bucherot $R_{36}C_{10}$ au rolul de limitare a amplificării semnalului audio de intrare în zona frecvențelor ultrasonore.

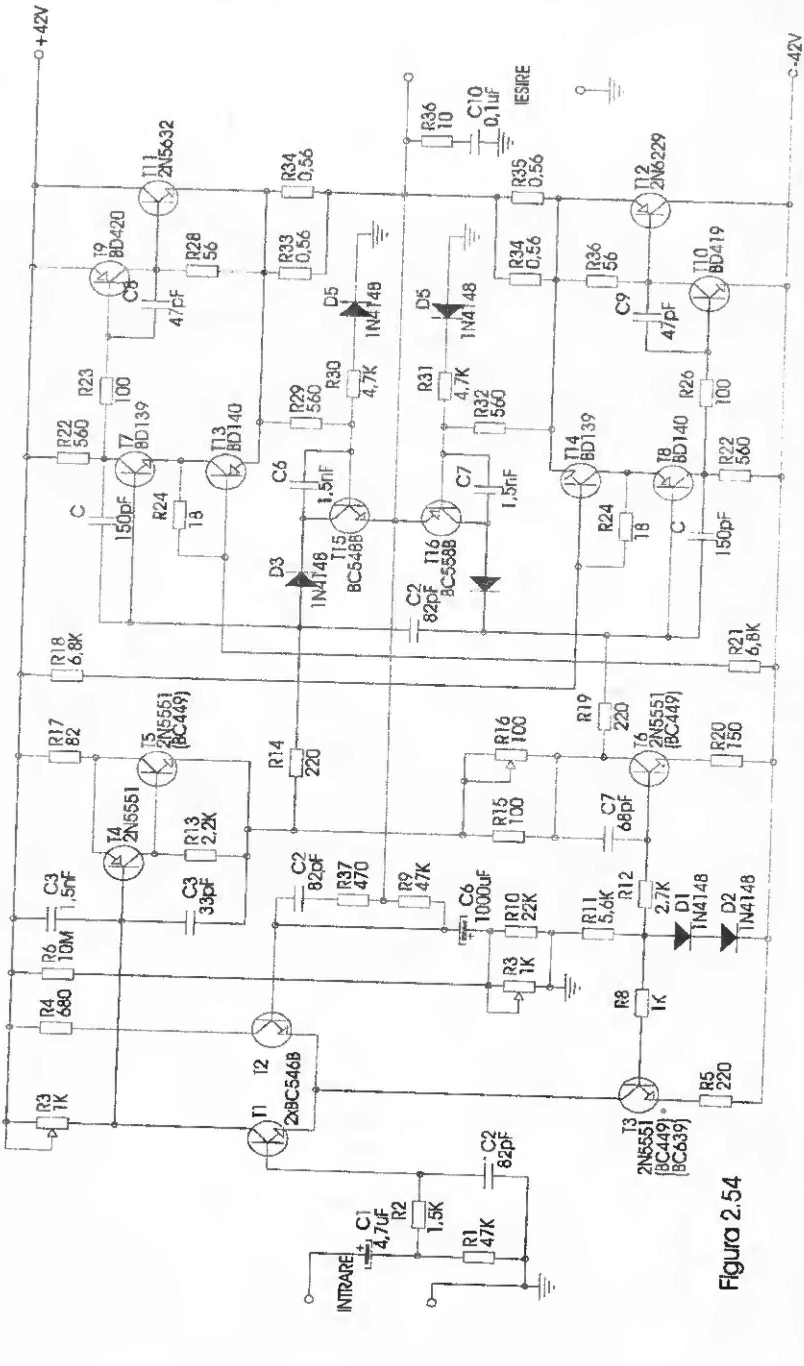


Figura 2.54

În acest mod se mărește stabilitatea în funcționare a amplificatorului și totodată se evită posibilitatea apariției unor oscilații. La realizarea practică a montajului se recomandă folosirea unei plăcuțe de cablaj imprimat pentru etajele de intrare, pilot și protecția electronică. Restul componentelor (etajul final și sursa de tensiune destinată polarizării acestuia) se amplasează pe un radiator comun (care să fie capabil de a disipa puterea disipată $P_D > 0,4\ P_N$) astfel:

– tranzistoarele se montează pe radiator (folosind plăcuțe de mică, tuburi izolante, șaibe izolante etc.);

– pentru rezistențele interconectate în montaj se confecționează mici cablaje imprimate, amplasate tot pe radiator cu ajutorul unor șuruburi de prindere (evident, izolate galvanic de acesta), chiar în apropierea tranzistoarelor cu care se interconectează.

Se mai menționează că este absolut necesar ca traseul de alimentare al etajului final (deci, curenți mari ce impun conductoare groase) să fie diferit de traseul de alimentare al celorlalte etaje funcționale. Dacă nu se respectă acest lucru, apare așa-numitul „cuplaj prin masă" care scade automat performanțele inițiale menționate pentru montaj. Reglajele amplificatorului încep cu stabilirea potențialului „zero V" la ieșirea acestuia, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_3. Urmează reglajul curentului de mers în gol, de această dată doar prin etajul final $I_0 = 21$ mA, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_{16}. Amplificarea generală a montajului se poate regla prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_7. Realizat și reglat corespunzător, amplificatorul se va încadra cu ușurință în cerințele HI-FI, chiar și pentru depășiri de scurtă durată ale livrării puterii nominale P_N, comportându-se foarte bine în timpul regimurilor tranzitorii de funcționare.

A.A.F. de 100 W

Performanțele amplificatorului a cărui schemă electrică este prezentată în **figura 2.55.** sunt următoarele:

$P_N = 100$ W;	$f = 15$ Hz ÷ 30 kHz;
$Z_i = 47$ kΩ;	S/N > 85 dB;
$Z_e = 4$ Ω;	SR = 15 V/µs;
$U_i = 800$ mV;	THD ≤ 0,8%;
$U_A = \pm 40$ V;	TID ≤ 0,6%.

Etajul de intrare al amplificatorului este de tipul amplificatoarelor diferențiale de tensiune, dotate cu generator de curent constant. Semnalul de intrare se aplică în baza tranzistorului T_2 prin intermediul condensatorului C_1. Amplificatorul diferențial include tranzistoarele T_2 și T_3, iar generatorul de curent constant tranzistorul T_1 și componentele electrice $D_1D_2R_7R_4$. Semnalul audio amplificat se preia din colectorul tranzistorului T_2 și se aplică galvanic în baza tranzistorului T_5, care realizează funcția etajului pilot. Sarcina lui o constituie alt generator de curent constant, realizat de această dată cu tranzistorul T_4 și componentele electrice $D_5D_6R_{11}R_{12}$. Sursa de tensiune constantă necesară polarizării etajului final este de tip superdiodă, incluzând tranzistorul T_6 și componentele $R_{13}R_{14}R_{15}C_4$. Etajul final este format din doi tripleți complementari $T_9T_{11}T_{13}$ (NPN de tip Darlington) și $T_{10}T_{12}T_{14}$ (PNP de tip Super-G). Protecția electronică este de tipul celor cu limitare de curent, incluzând tranzistoarele T_7T_8 și componentele electrice aferente $R_{18}R_{19}R_{20}R_{21}$. Amplificarea generală a montajului este reglementată de o buclă de reacție negativă globală,

din care fac parte elementele $R_{17}C_{10}C_{11}R_3R_5C_2$ ($A = 1 + R_{17}/R_3$). Grupul R_5C_2 a fost prevăzut pentru o ușoară creștere a amplificării generale, proprie montajului în zona frecvențelor înalte.

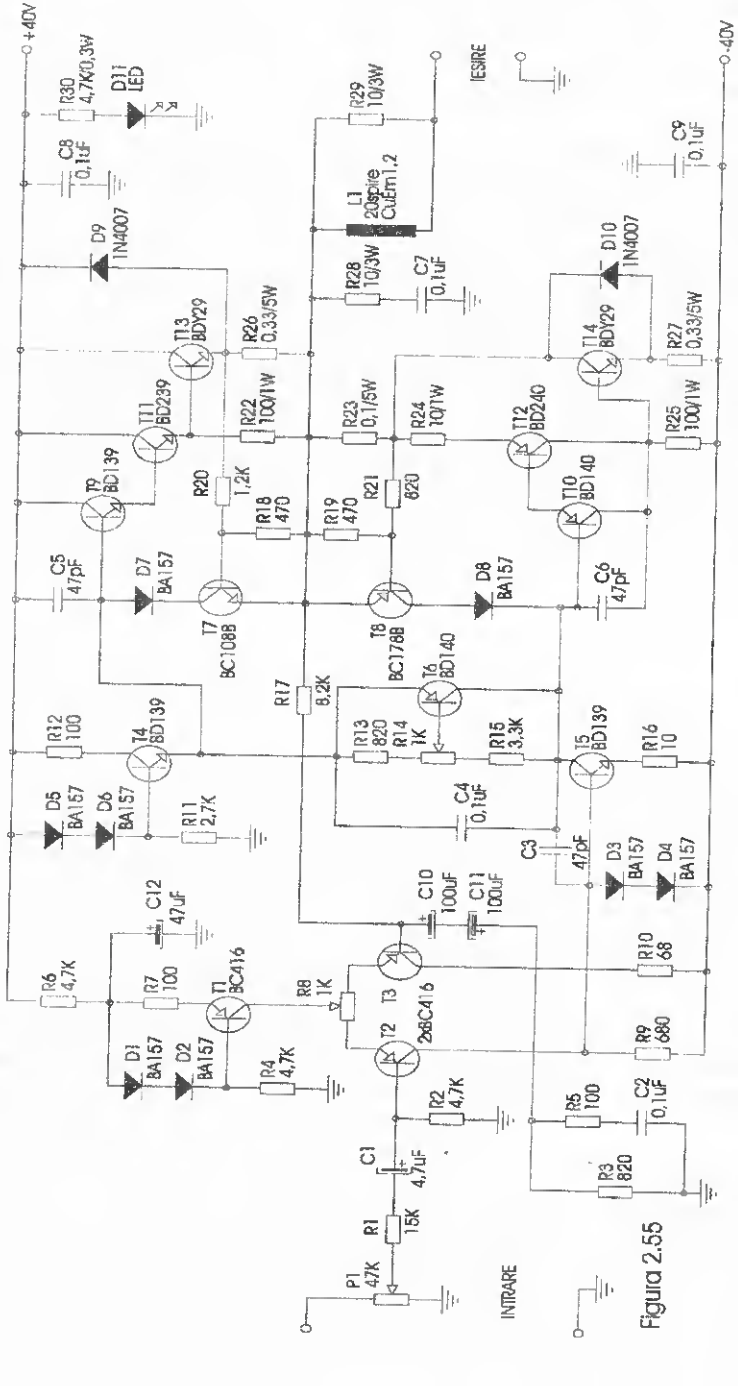


Figura 2.55

Pentru sporirea stabilității în funcționare și prevenirea tendinței de oscilație a amplificatorului s-au prevăzut condensatorul C_3 (în etajul pilot), condensatoarele C_5C_6 (în etajul final) și filtrul Bucherot $R_{28}C_7$ amplasat la ieșire. Reglajele amplificatorului constau în stabilirea tensiunii „zero V" la ieșirea acestuia, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_8. Urmează stabilirea valorii curentului de mers în gol I_0 = 100 mA, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_{14}. Elementele protecției electronice au fost dimensionate astfel încât aceasta să intre în funcțiune la o depășire a puterii nominale P > 1,25 P_N. Se recomandă un filtraj eficient al tensiunii de alimentare U_A (condensatoare de minim 6800 µF pe fiecare ramură), iar transformatorul de rețea trebuie să aibă o putere de minim 180 VA pentru livrarea de lungă durată, în regim continuu, a puterii nominale.

AMPLIFICATOR AUDIO ULTRALINIAR DE 100 W

Realizarea practică a unui amplificator de audiofrecvență de putere mare – 100 W – care să dețină performanțe HI-FI, se poate face în mai multe moduri, fiecare dintre ele având avantaje și dezavantaje proprii. În ultimul timp a devenit curentă folosirea unor circuite integrate specializate, de putere, astfel dimensionate încât să livreze puterea nominală ce se dorește a fi instalată în cadrul complexului electroacustic. Efectuând însă o analiză mai detaliată a acestui tip de soluție tehnică, dublată de un set de măsurători de parametri, în majoritatea cazurilor s-au constatat unele deficiențe, dintre care menționăm:

– majoritatea montajelor de acest tip livrează puterea nominală doar pentru o perioadă de timp limitată, și mai ales doar înspre partea centrală a benzii de audiofrecvență. La extremitățile ei mai totdeauna intervin atenuări importante ale valorii puterii de ieșire.

– procentele de distorsiuni armonice și de intermodulație (THD și TID) reprezintă de cele mai multe ori o valoare apropiată de limitele de la care distorsiunile sunt sesizabile auditiv, în special înspre extremitățile benzii audio.

– amplificatoarele audio de putere realizate cu circuite integrate specializate prezintă o capacitate destul de redusă la supraîncărcare. Depășirea puterii nominale livrate duce de cele mai multe ori la apariția distorsiunilor de tip CLIPPING (limitări), foarte supărătoare în momentul audiției, la intermodulații sesizabile auditiv și nu de puține ori la ambalări termice care distrug ireversibil circuitul integrat de putere.

– unele circuite integrate de putere prezintă un factor de creștere al tensiunii (slew-rate) de valoare redusă (sub 1V/µs), fapt care implică funcționarea deficitară a acestora în timpul regimurilor tranzitorii, și mai ales redarea cu intermodulații sesizabile (lipsa de claritate și deformări acustice) a semnalelor audio de frecvență înaltă.

– utilizarea unui circuit integrat specializat de tip amplificator audio de putere presupune folosirea schemei electrice tipice impusă de fabricant, iar unele corecții (necesare uneori pentru caracteristica de transfer amplitudine-frecvență, stabilitate etc.) sunt de cele mai multe ori imposibile.

– prețul de cost al unui circuit integrat specializat (audio, de putere) este destul de ridicat.

Ținând seamă de acestea, s-a ales o schemă electrică a unui amplificator audio de putere care să nu prezinte deficiențele menționate anterior. Montajul este realizat cu componente electrice ușor procurabile (fabricate în țară) și prezintă totodată performanțe electrice foarte bune, încadrabile cu ușurință în normele HI-FI. Schema electrică a amplificatorului este prezentată în **figura 2.56**.

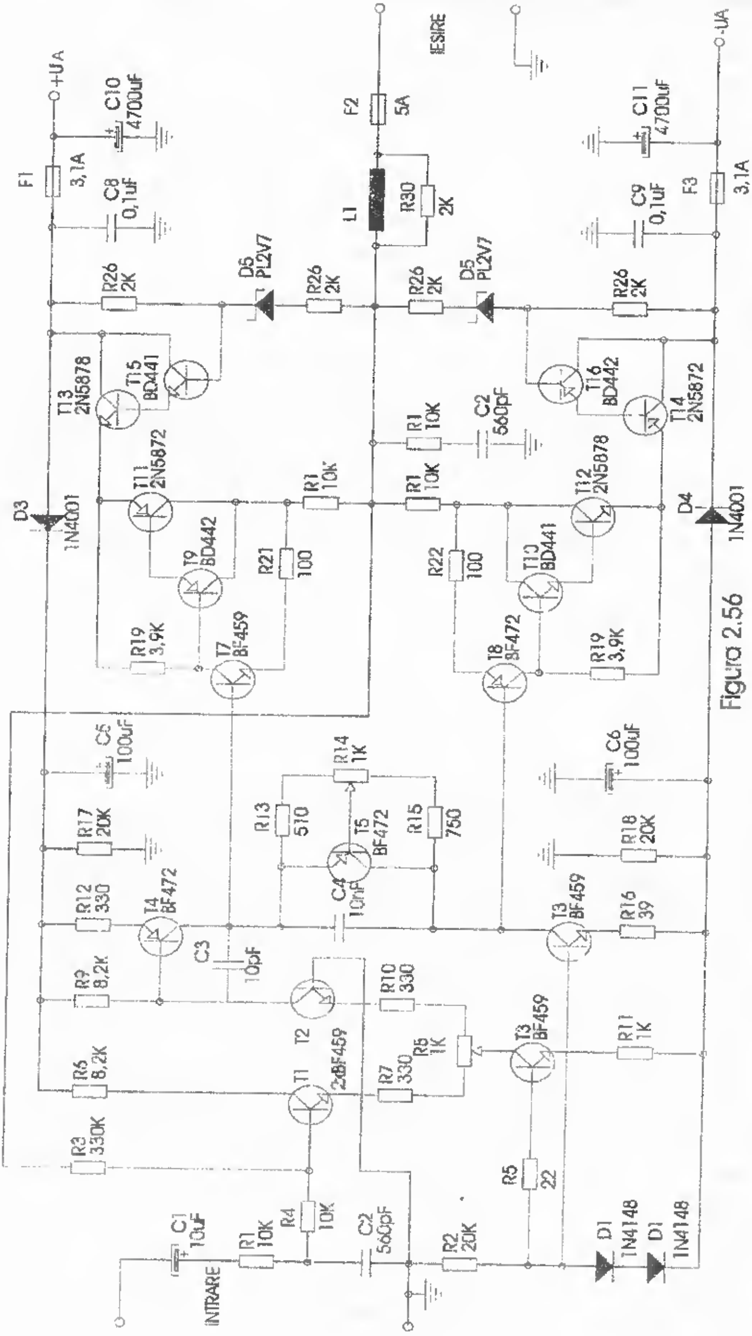

+UA
IESIRE
-UA
INTRARE
F1 3,1A
F2 5A
F3 3,1A
C10 4700uF
C11 4700uF
C8 0,1uF
C9 0,1uF
L1
R30 2K
D5 PL2V7
R26 2K
T13 2N5878
T15 BD441
T16 BD442
T14 2N5872
R1 10K
C2 560pF
T11 2N5872
T12 2N5878
D3 1N4001
D4 1N4001
T9 BD442
T10 BD441
R21 100
R22 100
R19 3,9K
T7 BF459
T8 BF472
C5 100uF
C6 100uF
R14 1K
R13 510
R15 750
T5 BF472
R17 20K
R18 20K
R12 330
T4 BF472
C4 10nF
T3 BF459
R16 39
C3 10pF
R9 8,2K
T2
R10 330
R6 8,2K
T1
2xBF459
R7 330
R8 1K
R11 1K
R3 330K
R4 10K
R5 22
C1 10uF
R2 20K
D1 1N4148

Figura 2.56

El prezintă următoarele performanțe:
- puterea nominală: P_N = 100 W;
- capacitatea de supraîncărcare: C = 1,4 (P_{NS} = 140 W);
- puterea muzicală de vârf: P_{MV} = 270 W;
- tensiunea de alimentare: U_A = ± 50 V;
- impedanța de intrare: Z_i = 20 kΩ;
- impedanța de ieșire: Z_e = 4 Ω;
- impedanța minimă de ieșire: Z_{emin} = 2 Ω (la care amplificatorul rămâne stabil)
- tensiunea de intrare: U_i = 250 mV;
- banda de frecvență: Δf = 14 Hz – 22kHz;
- atenuarea la capetele benzii de frecvență: A = 0,5 dB;
- raport semnal-zgomot: S/N ≥ 75 dB;
- slew-rate: SR = 25 V/μs;
- distorsiuni armonice: THD ≤ 0,02 %/1 kHz;
  THD ≤ 0,14 %/16 kHz;
  THD ≤ 0,1 %/25 kHz;
- distorsiuni de intermodulație: TID ≤ 0,07%.

Semnalul audio se aplică la intrarea montajului, prin intermediul condensatorului C_1, etajului de intrare. Acesta reprezintă un amplificator diferențial, care conține tranzistoarele T_1, T_2 și T_3. Grupul $R_1R_4C_2$, amplasat la intrarea montajului, reprezintă un filtru trece-jos de tip T. El a fost prevăzut pentru a bloca semnalele electrice audio cu o frecvență mai mare de 22 kHz. În acest mod se evită din start atât amplificarea unor semnale ultrasonore ce ar putea proveni accidental de la sursa de semnale audio, cât și funcționarea necorespunzătoare generală a amplificatorului, evitându-se posibilitățile de apariție a unor intermodulații care ar scădea calitatea reproducerii programului muzical sonor în zona frecvențelor medii-înalte. Analizând structura amplificatorului diferențial proprie etajului de intrare, se observă că în emitoarele tranzistoarelor T_1 și T_2 este amplasată o sarcină activă de tip generator de curent constant, format din tranzistorul T_3 și componentele electrice aferente ($R_2D_1D_2R_5R_{11}$). Această soluție tehnică îmbunătățește fundamental funcționarea amplificatorului diferențial, atât în privința impedanței sale de intrare, cât și în cea a liniarității caracteristicii de transfer tensiune-frecvență. Potențiometrul semireglabil R8 a fost prevăzut pentru reglajul off-setului amplificatorului, astfel încât în lipsa semnalului audio de intrare, prin difuzoarele incintei acustice (sarcina amplificatorului) să nu circule o componentă de curent continuu (Io_{OUT} < 3 mA). Semnalul audio amplificat de către etajul de intrare este preluat din colectorul tranzistorului T_2 și aplicat galvanic în baza tranzistorului T_4. Acesta îndeplinește în cadrul montajului rolul etajului pilot, care asigură excursia maximă de tensiune a semnalului audio amplificat. Pentru optimizarea funcționării etajului pilot, s-a prevăzut ca sarcină a lui un generator de curent constant, realizat cu ajutorul tranzistorului T_6. Acest tip de configurație – deci sarcina activă – oferă avantajul realizării unei rezistențe echivalente mari în curent alternativ și mici în curent continuu. Urmarea imediată este obținerea unei amplificări foarte mari, și totodată cu distorsiuni minime, a etajului pilot. Tranzistorul T_5 împreună cu componentele $R_{13}R_{14}R_{15}C_4$ formează o sursă de tensiune constantă de tip superdiodă, necesară polarizării în clasa de funcționare AB a etajului final. Analizând configurația schemei lui electrice, se observă că el prezintă o structură de tip cvasirepetor pe emitor. Tranzistoarele T_7, T_9 și T_{11} realizează un triplet de tip NPN, iar tranzistoarele T_8, T_{10} și T_{12} un triplet complementar de tip PNP. Se mai observă că repetoarele pe emitor clasice, formate din cele două tranzistoare complementare de putere, sunt completate de

prezența celor două sarcini dinamice complementare, realizate de dubleții de tranzistoare T_{13} și T_{15} (de tip NPN) și T_{14} și T_{16} (de tip PNP). În pauze (lipsa semnalului audio de intrare), pe fiecare dintre cele două tranzistoare dublet este aplicată doar jumătate din valoarea tensiunii de alimentare, deoarece polarizarea acestora este asigurată de grupurile $R_{26}D_5R_{27}$ și $R_{28}D_8R_{29}$. Acest mod de lucru îmbunătățește foarte mult liniaritatea caracteristicilor de transfer tensiune-frecvență ale amplificatorului și duce la obținerea unui slew-rate de valori ridicate (25V/μs). Totodată disipația termică a etajului final este mult îmbunătățită în momentul livrării puterii nominale. Atunci când semnalul audio se aplică la intrarea amplificatorului, cei doi dubleți complementari asigură, în funcție de nivelul semnalului de intrare, nivelul tensiunii de alimentare a celor doi tripleți complementari. Deci, practic, se asigură excursia dinamică a punctului de funcționare ce definește amplificarea în tensiune a etajului final și, concomitent, livrarea optimă de către acesta a puterii de ieșire. Complexitatea acestei configurații a etajului final (un număr mai mare de tranzistoare față de montajele clasice) este pe deplin compensată de performanțele lui foarte bune în privința liniarității perfecte a caracteristicilor de transfer tensiune-curent și tensiune-frecvență. Se remarcă posibilitatea obținerii unei amplificări de curent mari, cu distorsiuni neliniare și mai ales cele de intermodulație extrem de reduse (practic inexistente).

Un alt avantaj esențial al acestui tip de etaj final îl constituie puterea disipată redusă din timpul funcționării. Alcătuirea etajului final implică prezența unei puteri disipate pe sfert față de cea a unui montaj clasic, realizat cu tranzistoare complementare și care funcționează în clasa AB. La ieșirea etajului final se mai remarcă prezența filtrului Bucherot, format din grupul $R_{25}C_6$. El elimină complet posibila apariție a unor oscilații de frecvență ultrasonoră în timpul funcționării amplificatorului (mai ales în momentul apariției unor regimuri tranzitorii de funcționare și chiar la suprasarcina de scurtă durată). Rezistența R_3 este amplasată într-o buclă de reacție negativă globală, ce definește în final amplificarea generală a montajului [$A = R_3/(R_1 + R_4)$]. Rezistențele R_{27} și R_{28} reprezintă reacții negative locale de curent, care optimizează funcționarea celor doi tripleți complementari proprii etajului final al amplificatorului, și totodată previn ambalarea termică a acestuia. Bobina L_1 reprezintă un filtru trece-jos amplasat la ieșirea montajului, în scopul diminuării influenței difuzoare-amplificator, sporindu-se stabilitatea în funcționare a acestuia (evitarea unei contrareacții nedorite).

Pentru protecția suplimentară la suprasarcina de lungă durată a amplificatorului sau un eventual scurtcircuit în incinta acustică, s-a prevăzut siguranța fuzibilă F_2. Tot pentru o funcționare optimă a amplificatorului s-a luat o serie de măsuri suplimentare. Pe căile de alimentare cu energie electrică a etajelor de intrare și pilot au fost prevăzute grupurile $D_3R_{17}C_5$ și $D_4R_{18}C_8$. Ele reprezintă rezervoare tampon de energie electrică amplasate în scopul menținerii constante a valorii tensiunii de alimentare a etajelor menționate anterior, indiferent de puterea debitată de etajul final, când la depășiri de puteri nominale tensiunea generală de alimentare ar putea scădea.

Tot în scopul asigurării unei tensiuni de alimentare generale de valoare pe cât posibil constantă, au fost prevăzute condensatoarele de filtraj C_{10} și C_{11} de valori mari (4700 μF). Condensatoarele C_8 și C_9 au rolul de suprimare a unor tensiuni parazite ce ar putea fi preluate accidental de amplificator pe traseele de alimentare (cablurile de la redresor etc.). Siguranțele fuzibile F_1 și F_3 realizează o protecție generală pe traseele de alimentare cu energie electrică a amplificatorului, în cazul apariției unei suprasarcini de lungă durată sau a unui scurtcircuit accidental.

Realizare practică și reglaje

Construirea amplificatorului de putere implică o serie de particularități, în vederea obținerii unui montaj care să confirme parametrii estimați inițial.

Pentru realizarea unei variante constructive cât mai simple și eficiente, se propune o succesiune de etape și operații intermediare, de corectitudinea respectării lor depinzând fundamental calitatea montajului. Amplificatorul se poate realiza în variantele mono stereo sau chiar cuadro. Se menționează că o audiție muzicală de nivel HI-FI implică automat cel puțin varianta stereo, ca atare indicațiile de montaj se vor da pentru această variantă.

În vederea asamblării optime, realizarea montajului a fost defalcată pe mai multe etape, și anume:

– realizarea modulului de comandă;

– realizarea modulului de putere;

– amplasamentul final al modulelor (varianta stereo);

– considerații privind alimentarea cu energie electrică.

Modulul de comandă reprezintă partea de amplificare în tensiune a montajului ce urmează a comanda etajul final. Modulul de comandă conține tranzistoarele T_1, T_2, T_3, T_4, T_6 și componentele electrice aferente.

Placa de bază a modulului de comandă se realizează folosind o plăcuță de sticlostratitex placat cu folie de cupru. Schema de cablaj este prezentată în **figura 2.57**, iar amplasarea componentelor electrice pe ea se prezintă în **figura 2.58**. În vederea unei stabilități termice cât mai ridicate în funcționare, toate tranzistoarele menționate anterior au fost prevăzute cu radiatoare. Fiecare radiator se confecționează din tablă de aluminiu groasă de 1-2 mm, având un profil de tip U, cu o suprafață totală de minim 6 cm^2.

Se realizează câte două montaje modul comandă (varianta stereo) identice, folosind componente electrice de cea mai bună calitate (vezi lista de componente prezentată la sfârșitul lucrării). Tranzistoarele T_1 și T_2 se aleg cu același factor de amplificare în curent h_{21E}. La realizarea modulelor de comandă, se recomandă următoarea succesiune de operații:

– realizarea plăcuțelor de cablaj imprimat;

– plantarea coselor;

– plantarea rezistențelor și condensatoarelor;

– plantarea tranzistoarelor, acestea având deja fiecare radiatorul montat (șurub M_3, șaibe plate și Grower, piuliță M_3).

Înainte de plantarea tranzistoarelor pe plăcuța de cablaj imprimat, terminalul colector al fiecăruia se preformează (cu o pensetă) de așa natură încât să se obțină forma de montare de tip tripod a terminalelor.

Acest gen de amplasament concură la o stabilitate mecanică sporită a fiecărui tranzistor amplasat pe plăcuța de cablaj imprimat. Modulul de putere conține placa de cablaj pe care sunt montate restul componentelor electrice ale amplificatorului (în afară de condensatoarele C_{10} și C_{11}) și radiatorul ce conține tranzistoarele de putere (mai puțin T_7 și T_8, amplasate pe placa modul putere). Schema de cablaj imprimat a plăcii modul-putere este prezentată în **figura 2.59,** iar amplasarea pe ea a componentelor electrice, în **figura 2.60**.

Pentru confecționarea radiatorului tranzistoarelor de putere se folosește un profil de aluminiu cu aripioare pe ambele fețe, asemănător cu varianta prezentată în **figura 2.62.** (144 x 30 x 400).

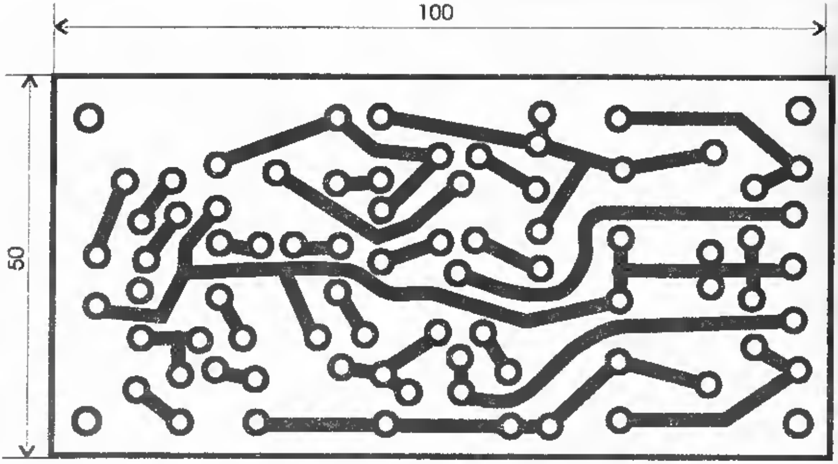


Figura 2.57

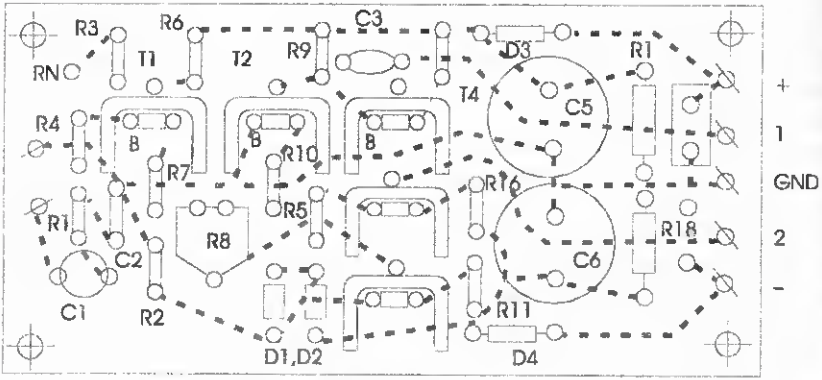


Figura 2.58

Tot aici este prezentat și modul de amplasare a tranzistoarelor, care intră în componența sursei de tensiune superdiodă (T_5), dubleții Darlington din etajul final (T_9, T_{11} și T_{10}, T_{12}) și sarcinile dinamice complementare (T_{13}, T_{15} și T_{14}, T_{16}). Toate tranzistoarele se izolează față de placa radiator folosind folii de mică groasă de 0,2-3,3 mm, umectate cu vaselină siliconică. Prinderea mecanică a fiecărui tranzistor implică prezența izolației galvanice față de radiator a fiecăruia, realizată cu ajutorul șaibelor izolante, tubului izolant (prin care trece șurubul M_3 de prindere) etc. Indiferent de varianta aleasă, după prinderea mecanică a fiecărui tranzistor pe radiator, izolația lor galvanică (măsurată cu un ohmmetru) trebuie să fie perfectă. În mod obligatoriu, tranzistoarele T_7 și T_8, T_9 și T_{10}, T_{11} și T_{12} dețin (fiecare pereche) același factor de amplificare în curent h_{21E}. Mai este necesar ca tensiunile Zenner proprii diodelor D_5 și D_6 să prezinte aceeași valoare pentru un curent de 12,5 mA (toleranța maximă fiind sub 2%).

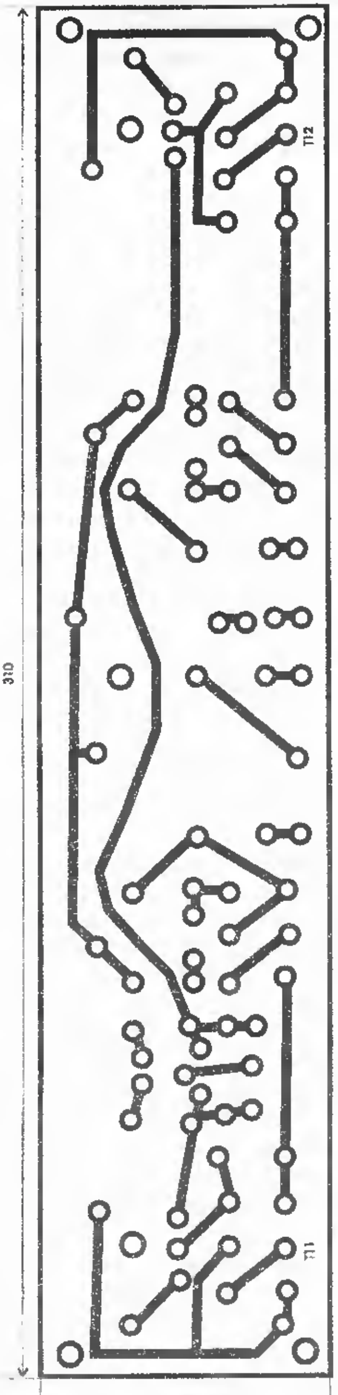


Figura 2.59

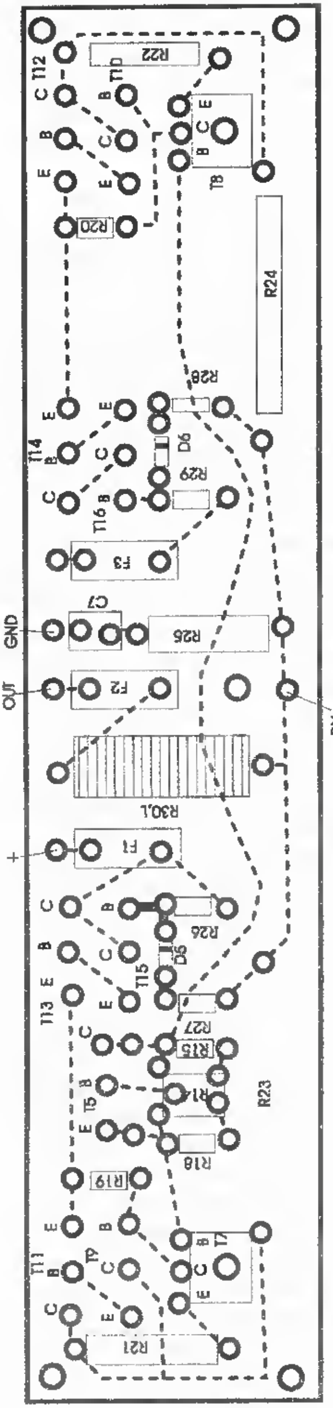


Figura 2.60

Ordinea de realizare a modulului de putere (varianta stereo) este:

– realizare plăci cablaj modul putere: fiecare placă se inscripționează ulterior (pe partea cu componente) cu simbolurile tranzistoarelor unde vin conexiunile;

– realizare radiatoare din profil aluminiu: găurile de fixare placă modul putere-radiator se dau prin corespondență (cele cinci găuri, M_3, radiator și Φ 3,2, placă);

– montare tranzistoare pe radiator (vezi **figura 2.61**) și ulterior verificarea izolației fiecăruia;

– montare componente electrice pe placa modul putere;

– confecționare grup LR_{30} prin bobinarea pe R_{30} (2 kΩ/5 W) a 20 de spire din CuEm Φ 1,5, și apoi sudura (paralel) a grupului LR_{30}. Ulterior cele două grupuri R_{30} se plantează pe plăcile modul putere. Se sudează, la fiecare terminal al tranzistoarelor (B, C, E) de pe radiator, conductorul multifilar de legătură cu placa modul putere. Lungimea fiecărui conductor (de tip VLPY) se alege astfel încât să rămână o rezervă de cca. 2 cm față de distanța optimă (pentru a putea manevra letconul introdus între radiator și placa modul putere). Sudura se face dinspre cablaj, iar înspre partea cu piese a plăcii modul putere, capetele conductoarelor ies cu o lungime de cca. 2 mm (pentru măsurători, la reglaje). Pentru partea de curenți mari a etajului final se folosesc conductoare cu secțiunea echivalentă de cca. 2,5 mm^2 (Φ2 multifilar), iar pentru restul conexiunilor secțiunea este de 1 mm^2 (Φ1 multifilar). Se recomandă conductoare cu izolație de culori diferite pentru fiecare terminal de tranzistor (ex. ALB – emitor, ROȘU – colector, VERDE – bază).

După realizarea sudurii conductoarelor de legătură tranzistoare-placa modul putere, între aceasta și radiator (aripioarele lui) trebuie să rămână o distanță de cca 20 mm. Cu o pensetă se preformează fiecare conductor în vederea apropierii plăcii modul putere de radiator pentru fixarea mecanică a acestora, conform desenului de ansamblu prezentat în **figura 2.62**. Se are grijă ca la preformare să nu se forțeze sudurile (preformarea începe de la un capăt al montajului modul putere și se termină la celălalt). În final, cu cele 5 șuruburi M_3 și distanțierii (din material izolant – pertinax, textolit etc) se realizează rigidizarea mecanică a ansamblului modul-putere (vezi **figura 2.62**). Desigur că după realizarea practică a modulelor care intră în componența amplificatorului, acestea se asamblează într-un bloc compact unitar. Inițial se confecționează din tablă de fier, groasă de cca. 1–1,5 mm (cu ranforsările de rezistență mecanică necesare), o cutie dreptunghiulară în care urmează să funcționeze amplificatorul. Se recomandă dimensiunea de 420 mm (general acceptată de majoritatea firmelor) pentru lungimea cutiei, 400 mm pentru lungimea pereților laterali și 140–150 mm pentru înălțimea acesteia. Modulele de putere se amplasează pe cei doi pereți laterali ai cutiei. Pentru acest lucru se fac în ei decupări dreptunghiulare, pe unde vor trece lejer plăcile modul putere, iar radiatoarele se fixează cu șuruburi direct pe pereții laterali, pentru a fi asigurată o disipație termică a căldurii mai eficientă. Plăcile modul comandă se asamblează în interiorul cutiei, în dreptul bornelor 1 și 2 (unde există fizic superdioda). La asamblarea mecanică se folosesc distanțieri (realizați tot dintr-un material izolant). Cutia metalică este prevăzută cu un panou frontal (pe care se amplasează comenzile) și capac detașabil (prins în șuruburi cu cap ornament – de exemplu; cap-cruce).

Redresorul care alimentează amplificatorul cu energie electrică se dimensionează pentru o putere de cca. 300 W, fiind capabil să livreze în regim de lungă durată, pe fiecare coloană a tensiunii continue de alimentare $U_A = \pm 50$ V, un curent minim de 6,5 A. Pentru un filtraj suplimentar al tensiunii U_A s-au prevăzut condensatoarele electrolitice C_{10} și C_{11} de capacitate mare (4700 µF/63V). Ele se amplasează fizic în imediata apropiere a blocului de alimentare (transformator + redresor).

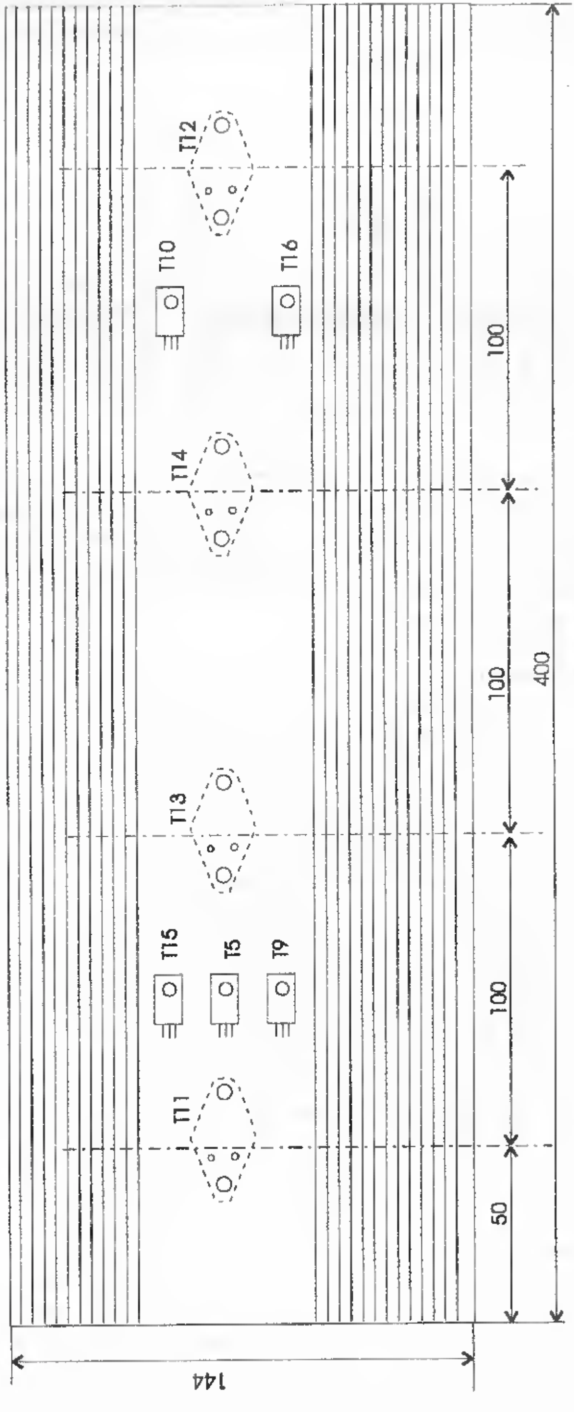


Figura 2.61

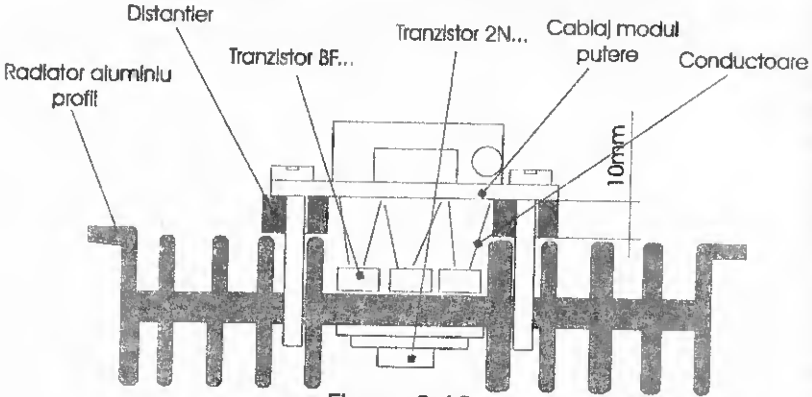


Figura 2.62

Schema de cablaj a amplificatorului se realizează conform variantei prezentate în **figura 2.63**. Se observă existența traseelor diferite pentru alimentarea cu energie electrică a modulelor de comandă (VPLY Φ1) și a modulelor de putere (VPLY Φ 2,5). Acest amplasament elimină din start posibilitatea apariției unui zgomot de fond apărut din cauza rezistențelor și curenților diferiți solicitați de cele două tipuri de module proprii amplificatorului.

Redresorul este prevăzut în imediata lui apropiere cu o placă de borne dotată cu câte cinci cose (dimensionate conform curenților solicitați) pe fiecare ramură de alimentare (plus, masa și minus). De la placa de borne a redresorului se duc conductoarele de alimentare către fiecare modul, pe traseul cel mai scurt (vezi **figura 2.63**). Reglajele amplificatorului încep printr-o verificare de ansamblu a corectitudinii efectuării tuturor conexiunilor galvanice. Ulterior se efectuează reglajele pentru fiecare canal informațional al amplificatorului (L și ulterior R).

Se amplasează la ieșirile amplificatorului câte o rezistență de cca. 150Ω/5w.

Se scot siguranțele de pe traseul de alimentare (F1 și F3) și la bornele lor se amplasează câte un miliampermetru înseriat cu câte o rezistență de cca. 50 Ω/3W. Se scoate ulterior și siguranța fuzibilă F2 și la bornele ei se conectează, de asemenea, un miliampermetru. Se ștrapează (se pun la masă) intrările amplificatorului. Se începe cu verificarea regimului static de funcționare. Pentru acest lucru, se acționează inițial potențiometrele semireglabile R_8 și R_{14} pe o poziție „de mijloc" a cursorului. Se alimentează amplificatorul și acționând potențiometrul semireglabil R_{14} se stabilește un prim reglaj al curentului de mers în gol, de cca. $I_0 = 20$ mA. Ulterior, se acționează cu grijă cursorul potențiometrului semireglabil R_8, astfel ca prin rezistența de sarcină amplasată la ieșirea amplificatorului să treacă un curent de valoare sub 10 mA ($I_S < 10$ mA). Se verifică cu ajutorul unui voltmetru de curent continuu dacă, la bornele rezistențelor amplasate în serie cu miliampermetrele de pe circuitele de alimentare, apare o cădere mare de tensiune (mai simplu, dacă se încălzesc). Dacă pe una (sau ambele) ramuri de alimentare apare un curent mare ce nu poate fi micșorat prin reglajele menționate anterior, înseamnă că s-a făcut o greșeală (de cablaj, componentă defectă etc). Amplificatorul se scoate de sub tensiune și se caută să se elimine eroarea. În cazul în care reglajele I_0 și I_S sunt posibile, se întrerupe alimentarea amplificatorului, se elimină rezistențele înseriate cu miliampermetrele din circuitul de alimentare și se reiau reglajele pentru valorile finale pentru curenții $I_0 = 70$mA, $I_S \leq 3$ mA (teoretic $I_S = 0$,

$U_{intrare}$ = 0). Ulterior se verifică prezența tensiunii de cca. 25 V în punctele A și B (pozitivă A, negativă B) și lipsa tensiunii continue (U_S = 0) la ieșirea amplificatorului. Reglajele pentru canalul informațional L se reiau apoi (în aceeași ordine) și pentru canalul informațional R.

După aceste reglaje se întrerupe alimentarea amplificatorului, se remontează siguranțele fuzibile și se trece la verificarea lui dinamică (evident, se înlătură ștrapurile de la intrări).

Se amplasează la ieșirile amplificatorului câte o rezistență de 4Ω/100W și se face verificarea dinamică, utilizând un generator de audiofrecvență și un osciloscop cu spot dublu.

Se verifică liniaritatea caracteristicii de transfer în banda audio (precizată inițial) și forma de undă a semnalului de ieșire (eventual utilizând și un distorsiometru).

O dată realizat și reglat, amplificatorul va confirma pe deplin parametrii tehnici precizați inițial, încadrându-se cu ușurință în normele HI–FI.

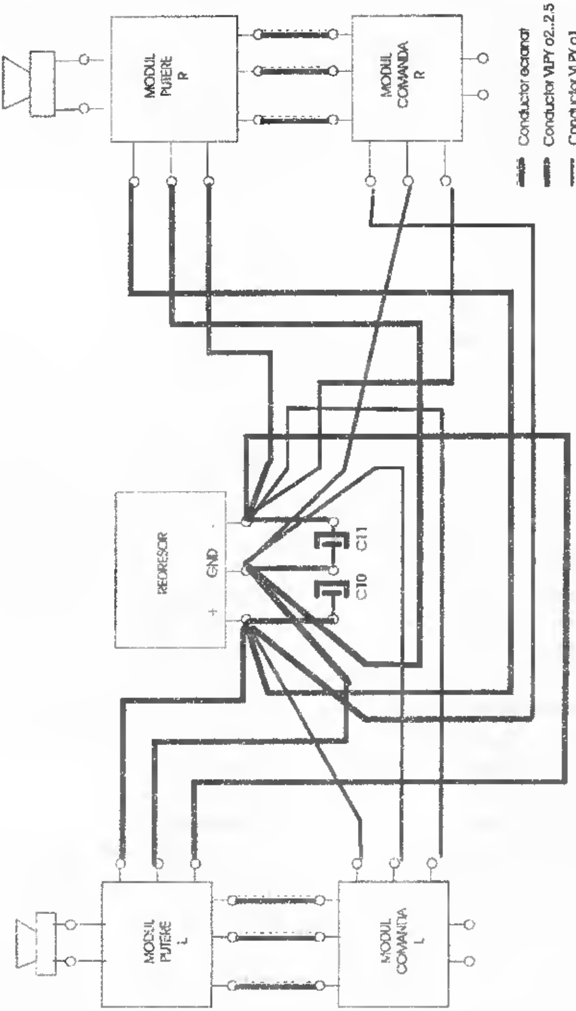


Figura 2.63

LISTA DE COMPONENTE

Tipul componentei electrice	
R_1 – rezistență tip RPM	10 kΩ/0,5 w
R_2 – rezistență tip RPM	20 kΩ/0,5 w
R_3 – rezistența tip RPM	330 kΩ/0,5 w
R_4 – rezistență tip RPM	10 kΩ/0,5 w
R_5 – reistență tip RPM	22 Ω/0,5 w
R_6 – rezistență tip RPM	8,2 kΩ/0,5 w
R_7 – rezistență tip RPM	330 Ω/0,5 w
R_8 – potențiometru semireglabil	1 kΩ
R_9 – rezistență tip RPM	8,2 kΩ/0,5 w
R_{10} – rezistență tip RPM	330 Ω/0,5 w
R_{11} – rezistență tip RPM	1 kΩ/0,5 w
R_{12} – rezistență tip RPM	330 Ω/0,5 w
R_{13} – rezistență tip RCG	510 Ω/0,5 w
R_{14} – potențiometru semireglabil	1 kΩ
R_{15} – rezistență tip RCG	750 Ω/0,5 w
R_{16} – rezistență tip RPM	39 Ω/0,5 w
R_{17} – rezistență tip RCG	20 kΩ/0,5 w
R_{18} – rezistență tip RCG	20kΩ/0,5 w
R_{19} – rezistență tip RCG	3,9 kΩ/0,5 w
R_{20} – rezistență tip RCG	3,9 kΩ/0,5 w
R_{21} – rezistentă tip RCG	100 Ω/2 w
R_{22} – rezistență tip RCG	100 Ω/2 w
R_{23} – rezistență bobinată	0,47 Ω/5 w
R_{24} – rezistență bobinată	0,47 Ω/5 w
R_{25} – rezistență tip RCG	10 Ω/2 w
R_{26} – rezistență tip RCG	2 kΩ/2 w
R_{27} – rezistență tip RCG	2 kΩ/2 w
R_{28} – rezistență tip RCG	2 kΩ/2 w
R_{29} – rezistență tip RCG	2 kΩ/2 w
R_{30} – rezistență bobinată	2 kΩ/5 w

Condensatoare	
C_1 – condensator cu TANTAL	10 µF/35 V
C_2 – condensator ceramic	560 pF/25 V
C_3 – condensator ceramic	10 pF/100 V
C_4 – condensator mylar	10 pF/100 V
C_5 – condensator electrolitic	100 µF/63 V (EG 6100)
C_6 – condensator electrolitic	100 µF/63 V (EG 6100)
C_7 – condensator mylar	0,1 µF/250 V
C_8 – condensator mylar	0,1 µF/250 V
C_9 – condensator mylar	0;1 µF/250 V
C_{10} – condensator electrolitic	4700 µF/63 V(EG 7600)
C_{11} – condensator electrolitic	4700 µF/63 V(EG 7600)

Diode

D_1 – 1N4148

D_2 – 1N4148

D_3 – 1N4001 1N4007
D_4 – 1N4001 1N4007
D_5 – PL2V7
D_6 – PL2V7

Tranzistoare

T_1 – BF459
T_2 – BF459
T_3 – BF459
T_4 – BF472
T_5 – BF472
T_6 – BF459
T_7 – BF459
T_8 – BF472
T_9 – BD442
T_{10} – BD441
T_{11} – 2N5872
T_{12} – 2N5878
T_{13} – 2N5878
T_{14} – 2N5872
T_{15} – BD441
T_{16} – BD442

Notă: tranzistoare cu același h_{21E}:

T_1 și T_2
T_7 și T_8
T_9 și T_{10}
T_{11} și T_{12}

Siguranțe fuzibile
F_1 – 3,1 A
F_2 – 6 A
F_3 – 3,1 A

2.3. AMPLIFICATOARE AUDIO CU TRANZISTOARE ȘI CIRCUITE INTEGRATE

Din analiza schemelor electrice de amplificatoare audio cu tranzistoare prezentate până acum, s-a observat faptul că, în vederea obținerii unor performanțe foarte bune, complexitatea montajului crește o dată cu sporirea indicilor calitativi. Configurația etajului de intrare, a etajelor de amplificare în tensiune și a etajului pilot devine din ce în ce mai complexă. Se folosesc amplificatoare diferențiale de tensiune, având ca sarcină (sau fiind alimentate de la) generatoare de curent constant – sarcini dinamice care oferă avantajele specifice prezentate până acum. Nu de puține ori se folosește și amplasamentul electronic denumit oglindă de curent, în vederea optimizării performanțelor amplificatorului, în ceea ce privește liniaritatea caracteristicilor de transfer, banda de frecvență de lucru, raportul semnal-zgomot și procentul total de distorsiuni THD și TID. Alături de complexitatea montajului și de numărul mare de elemente electrice pasive și active folosite, se pune problema unei sortări stricte a acestora. Un amplificator diferențial de tensiune nu-și va confirma performanțele dacă tranzistoarele aflate în componența sa nu prezintă parametri identici de funcționare (h_{21E}, i_{CBO} etc). Același efect apare și în cazul oglinzii de curent.

Sortarea componentelor electrice devine o operație laborioasă, care implică achiziționarea inițială a unui număr mare, fapt care, în cazul producției restrânse, mărește

prețul de cost al amplificatorului (rămân o serie de tranzistoare nefolosite, cu parametri diferiți).

Din aceste considerente s-a căutat să se simplifice realizarea practică a etajelor funcționale proprii amplificatorului (etaj de intrare, amplificator de tensiune și pilot). Au apărut așa-numitele „montaje hibride", care se bazează pe utilizarea în componența amplificatorului a unuia sau mai multor amplificatoare operaționale. Ele prezintă, în majoritatea cazurilor, performanțe electrice foarte bune, compatibile cu realizarea practică a funcțiunilor etajului de intrare, a amplificatorului de tensiune și uneori chiar a etajului pilot. Un amplificator operațional simplifică foarte mult realizarea blocurilor funcționale menționate anterior, deoarece:

– deține încă din construcție tranzistoare cu parametri identici;

– prezintă impedanță mare de intrare și mică de ieșire;

– deține în buclă deschisă o amplificare mare în tensiune (de ordinul zecilor de mii);

– prezintă o imunitate sporită la zgomotul de fond și brumul de rețea (evident, utilizat în mod corespunzător).

Din aceste motive, în etajul de intrare și în etajele amplificatoare de tensiune se poate utiliza în mod sigur un amplificator operațional adecvat. O problemă o reprezintă totuși faptul că majoritatea amplificatoarelor operaționale folosesc o tensiune redusă de alimentare (sub 40 V). De aceea, ele nu pot îndeplini, în cazul amplificatoarelor audio de putere mare, rolul etajului pilot (nu pot asigura excursia maximă de tensiune a semnalului audio amplificat care urmează a fi preluat de etajul final). Totuși, folosind o configurație adecvată a schemei electrice (amplificator operațional urmat de amplificator cu tranzistoare, două amplificatoare operaționale ce lucrează alternativ la amplificarea semialternanțelor semnalului audio etc.), în final amplificatorul operațional poate dirija foarte bine și funcționarea etajului pilot.

Din cele prezentate până acum, rezultă că majoritatea amplificatoarelor audio de putere performante utilizează „serviciile" unuia sau mai multor amplificatoare operaționale.

Schemele electrice ce vor fi prezentate în continuare, ale unor amplificatoare audio de putere în componența cărora sunt incluse și amplificatoare operaționale, au fost sortate ținând seama de următoarele:

– utilizarea cât mai completă a posibilităților amplificatorului operațional;

– simplitate constructivă, dublată de eficiență maximă;

– succesiunea simplu-complex, alături de putere nominală mică-putere nominală mare.

A.A.F de 5 W

În **figura 2.64** este prezentată schema electrică a unui amplificator de audio frecvență cu următoarele performanțe:

$P_N = 5$ W	$\Delta f = 45$ Hz-14kHz
$Z_E = 4\ \Omega$	S/N ≥ 65 dB
$Z_i = 82$kΩ	THD $\leq 0{,}4$ %
$U_i = 50$ mV	TID $\leq 0{,}2$%

Semnalul audio util se aplică la intrarea neinversoare a amplificatorului operațional conținut de circuitul integrat. Grupul de rezistențe $R_1R_2R_3$ este destinat polarizării amplificatorului operațional, astfel încât punctul său de funcționare (tensiunea lui de ieșire) să se situeze în zona optimizării funcționării etajului final.

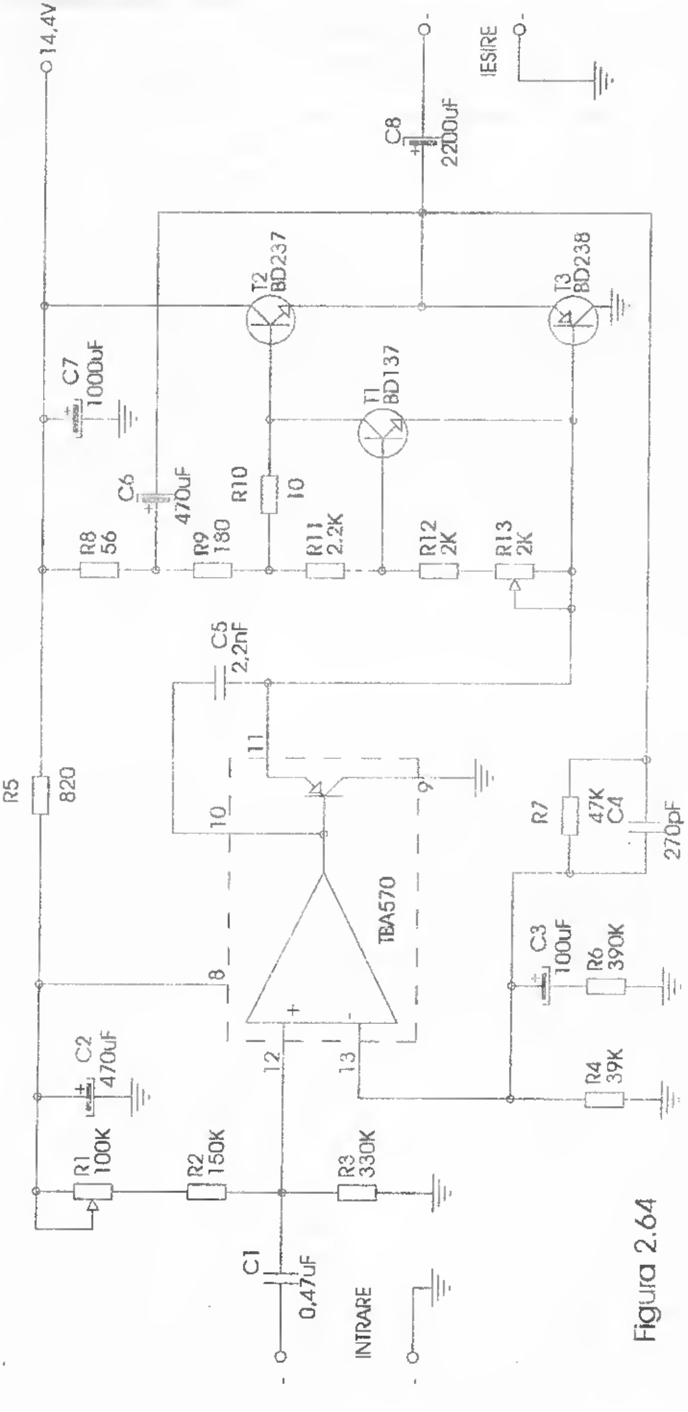

14,4V
IESIRE
C8
2200uF
T2
BD237
T3
BD238
C7
1000uF
T1
BD137
C6
470uF
R10
10
R8
56
R9
180
R11
2,2K
R12
2K
R13
2K
C5
2,2nF
11
R5
820
10
9
R7
47K
C4
270pF
TBA570
C3
100uF
R6
390K
8
C2
470uF
12
13
R4
39K
R1
100K
R2
150K
R3
330K
C1
0,47uF
INTRARE

Figura 2.64

Grupul R_5C_2 asigură un filtraj suplimentar tensiunii destinate polarizării amplificatorului operațional. Grupul $R7C_4C_3R_6$ reprezintă bucla de reacție negativă care definește amplificarea finală a montajului.

Tensiunea realizată de bucla de reacție negativă se aplică intrării inversoare a amplificatorului operațional. Semnalul de ieșire furnizat de amplificatorul operațional se aplică pe baza tranzistorului conținut de circuitul integrat TBA 570 (conexiune internă). Acest tranzistor îndeplinește rolul etajului pilot existent în orice amplificator de audiofrecvență. Grupul $R_8C_6R_9$ reprezintă o conexiune de tip bootstrap, care optimizează funcționarea etajului pilot, atât în ceea ce privește excursia în tensiune a semnalului audio amplificat, cât și în privința micșorării procentului de distorsiuni care ar putea apărea în urma unei amplificări mari (liniarizarea caracteristicii de transfer a etajului pilot). Tranzistorul T_1 este amplasat în cadrul montajului ca sursă de tensiune constantă de tip superdiodă, destinată polarizării tranzistoarelor T_2 și T_3. Etajul final al amplificatorului este realizat cu tranzistoarele complementare T_2 și T_3, care produc amplificarea în curent necesară furnizării puterii nominale către impedanța de sarcină (grupul de difuzoare). Cuplajul dintre etajul final și impedanța de sarcină se realizează prin intermediul condensatorului C_1.

Tensiunea de alimentare a montajului a fost aleasă ca valoare în scopul utilizării drept sursă de tensiune a bateriei de acumulatoare ce echipează un automobil, dar desigur că montajul se poate alimenta cu energie de la un redresor obișnuit, care să livreze tensiunea și curentul solicitate de amplificator.

În **figura 2.65** este prezentată schema electrică a unui alt amplificator de audiofrecvență ce folosește circuitul integrat TBA 570, de putere mai mare. Performanțele montajului sunt următoarele:

$P_N = 6$ W	$\Delta f = 35$ Hz-14kHz
$Z_i = 85$ kΩ	S/N ≥ 65 dB
$Z_e = 4$ Ω	THD ≤ 0,4%
$U_i = 100$ mV	TID ≤ 0,2%

Se observă că blocurile funcționale sunt asemănătoare și cu funcții identice cu cele ale amplificatorului de 5 W. În scopul obținerii unei amplificări suplimentare în ceea ce privește frecvențele joase (redate slab din punct de vedere acustic la o putere relativ mică), bucla de reacție negativă a căpătat o structură mai complexă, utilizând componentele $R_9C_7C_5R_8R_7C_4R_6$. Pentru asigurarea funcționării în parametri în momentul livrării puterii nominale, au fost alese tranzistoare complementare T_2 și T_3 de putere mai mare (BD 237 și BD 238).

Montajul se execută pe o plăcuță de sticlostratitex placat cu folie de cupru, în variantă mono sau stereo. La realizarea cablajului imprimat se are în vedere păstrarea tuturor cerințelor pentru un montaj de audiofrecvență.

După realizarea cablajului imprimat, componentele electrice se plantează cu grijă, cu cerința ca fiecare valoare indicată de schema electrică să fie păstrată cu strictețe. Tranzistoarele finale T_2, T_3 și tranzistorul T_1 (destinat polarizării acestora) se amplasează pe un radiator comun din aluminiu, cu o suprafață de minim 60 cm^2. Pentru izolarea galvanică a tranzistoarelor se folosesc folii de mică cu grosimea de 0,2 mm, care oferă în același timp avantajul unei bune disipații termice și o izolație electrică perfectă.

După realizare, montajul se alimentează de la sursa de tensiune. Se acționează cursorul potențiometrului semireglabil R_1 astfel ca în emitoarele

tranzistoarelor T_2 şi T_3 să se obţină o tensiune egală cu jumătate din valoarea tensiunii de alimentare.

Curentul de mers în gol se reglează acţionând cursorul potenţiometrului semireglabil propriu blocului sursă de tensiune constantă (R_{13} pentru amplificatorul de 5 W şi R_{15} pentru amplificatorul de 6 W). Valoarea curentului de mers în gol este I_0 = 35 mA. Reglajele menţionate anterior se efectuează cu intrarea montajului pusă la masă.

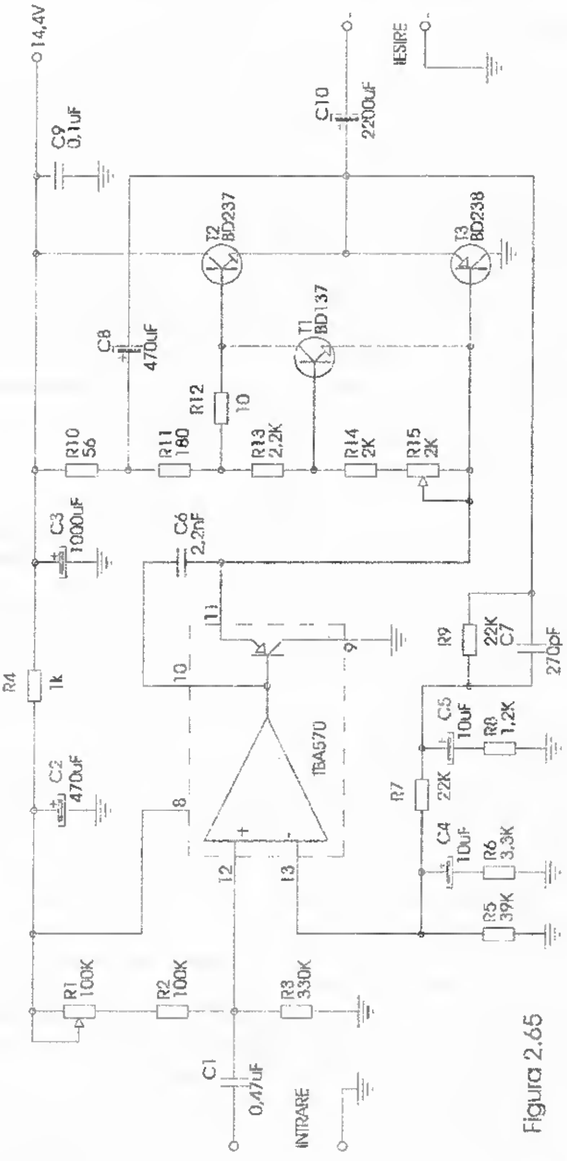


Figura 2.65

A.A.F de 10 W (15 W, 20 W)

Una dintre aplicațiile curente ale tranzistoarelor superbeta asimilate recent în fabricație autohtonă este realizarea unui amplificator de audiofrecvență performant cu un minim de componente electrice. În vederea acoperirii unui domeniu de utilizare cât mai larg în ceea ce privește valorile puterilor de ieșire, s-a realizat o schemă electrică astfel concepută încât, în funcție de tensiunea de alimentare utilizată, să fie îndeplinită condiția menționată anterior. Schema electrică a amplificatorului este prezentată în **figura 2.66**. El prezintă următoarele performanțe:

P_N = 10 W (15 W, 20 W)	Δf = 20 Hz-18kHz
Z_i = 100 kΩ	S/N ≥ 65 dB
Z_e = 4 Ω	THD ≤ 0,25 %
U_i = 350 (400, 450) mV	TID ≤ 0,07 %
U_A = 24 (28, 30) V	

Se observă că semnalul audio util se aplică montajului prin intermediul condensatorului C_1, la intrarea neinversoare a amplificatorului operațional βA741. El îndeplinește, în cadrul montajului funcțiile etajului de intrare și ale etajului pilot. Polarizarea amplificatorului operațional βA741 este realizată de divizorul de tensiune format de rezistențele R_1, R_2 și R_3. Semnalul audio amplificat preluat de la ieșirea amplificatorului operațional se aplică în continuare tranzistoarelor superbeta T_2 și T_3, care îndeplinesc în cadrul montajului rolul etajului final. Rezistența R_6 realizează bucla de reacție negativă (ieșirea amplificatorului și intrarea inversoare a amplificatorului operațional βA741) necesară obținerii unei amplificări liniare a montajului în banda de audiofrecvență. Valoarea amplificării finale este reglementată de raportul rezistențelor R_6/R_5. Polarizarea tranzistoarelor finale este asigurată de tranzistorul T_1, amplasat în cadrul montajului ca sursă de tensiune constantă de tip superdiodă. Fizic, tranzistorul T_1 se amplasează pe același radiator cu cel al tranzistoarelor finale în scopul asigurării compensării termice. Grupul $R_8R_9C_7$ reprezintă o conexiune BOOTSTRAP, care îmbunătățește foarte mult funcționarea etajului pilot, în privința excursiei în tensiune cât și a acoperirii uniforme a domeniului de frecvență din banda audio.

Realizare practică și reglaje

Montajul se realizează practic pe o plăcuță de sticlostratitex placat cu folie de cupru. Se are în vedere obligatoriu respectarea tuturor cerințelor ce privesc un cablaj pentru montaje de tip amplificator, și anume păstrarea structurii fizice de cuadripol a montajului, realizarea unor conexiuni între componente cât mai scurte, evitarea buclei de masă, traseu de masă gros de minim 4 mm etc. După realizarea plăcuței de cablaj imprimat (în varianta mono sau stereo), se plantează componentele conform schemei electrice, efectuîndu-se inițial o verificare a fiecăreia. Se folosesc componente electrice de cea mai bună calitate, în vederea realizării performanțelor estimate inițial. Condensatoarele C_1 și C_4 sunt din cele de tip cu tantal. Condensatorul C_5 se amplasează fizic cât mai aproape de pinul de alimentare al circuitului integrat. Tranzistoarele finale se amplasează pe un radiator de aluminiu, împreună cu tranzistorul T_1. Radiatorul este astfel dimensionat încât să poată disipa cel puțin jumătate din puterea nominală a montajului. După asamblare, montajul se alimentează de la o sursă de tensiune stabilizată, cu valoarea aleasă în conformitate cu puterea

de ieșire dorită. Se pune la masă intrarea amplificatorului prin ștrapare. Se acționează cursorul potențiometrului R_1 până la obținerea în emitoarele tranzistoarelor T_2 și T_3 a unei tensiuni egale ca valoare cu jumătate din valoarea tensiunii de alimentare. Curentul de mers în gol al amplificatorului, de I_0 = 30 mA, se obține prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_{11}. După aceste reglaje se îndepărtează ștrapul de la intrarea montajului, după care acesta se amplasează în incinta în care va funcționa, rigidizat mecanic corespunzător. În mod obligatoriu, se ține cont de posibilitatea de ventilație a radiatorului etajului final, pentru prevenirea ambalării termice.

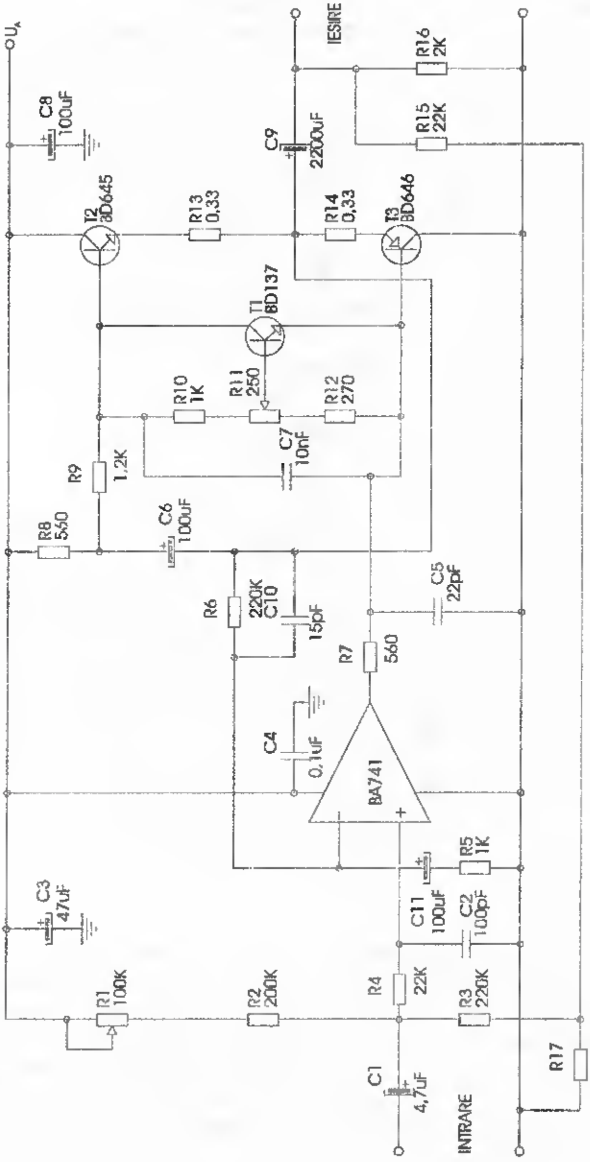


Figura 2.66

A.A.F. de 12 W (15 W)

Mărind valoarea tensiunii de alimentare, desigur că va crește și posibilitatea măririi excursiei în tensiune a etajului pilot. Funcționarea montajului a cărui schemă electrică este prezentată în **figura 2.67** se bazează pe acest lucru. Amplificatorul deține următoarele performanțe:

P_N = 12 W (15 W)
Z_i = 120 kΩ
Z_e = 8 Ω (4 Ω)
U_i = 750 mV
U_A = ± 20 V

Δf = 18 Hz-20 kHz
S/N ≥ 85 dB
SR = 10 V/μs
THD = 0,06% (f = 5 kHz, P_N)
TID = 0.02 % (f = 5 kHz, P_N)

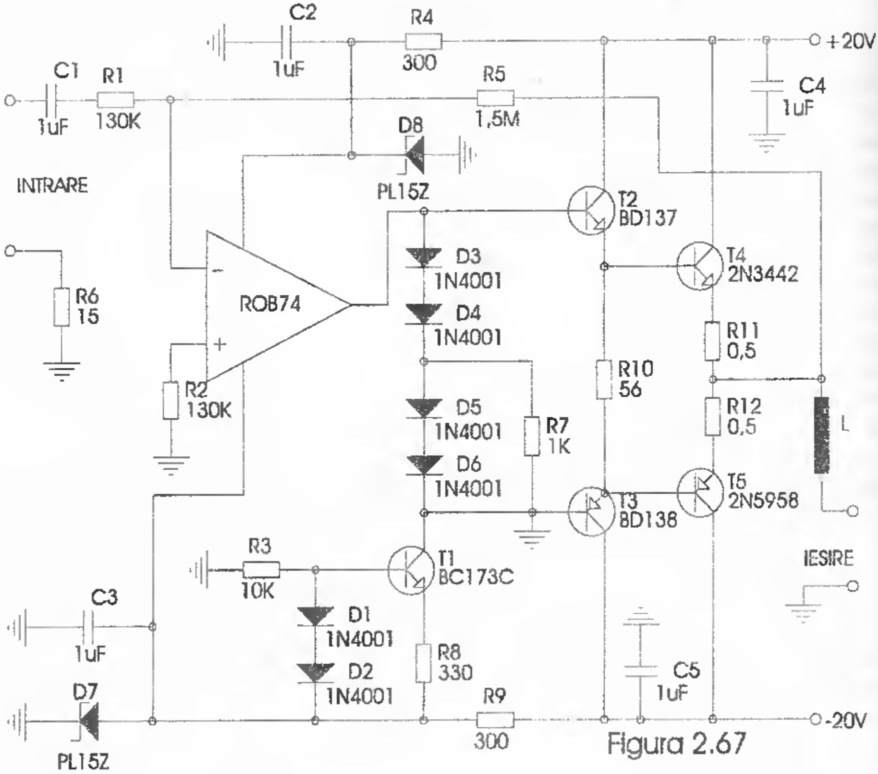


Figura 2.67

Analizând schema electrică a amplificatorului, se observă că semnalul de intrare, prin intermediul grupului C_1R_1, se aplică la intrarea inversoare a circuitului integrat C.I-1. Aceasta îndeplinește funcțiunile etajelor de intrare, amplificatoare de tensiune și pilot. Sarcina etajului pilot o constituie generatorul de curent constant, în componența căruia intră tranzistorul T_1. Polarizarea în clasa AB a etajului final, alcătuit din dubleții complementari T_2T_4 și T_3T_5, este realizată cu ajutorul grupului de diode $D_5D_6D_7D_8$. Amplificarea generală a montajului este determinată de o buclă de reacție negativă globală, ce include rezistențele R_5R_1 ($A = 1 + R_5/R_1$).

Bobina se realizează din conductor CuEm cu diametrul 0,6 mm, având 30 spire bobinate pe o carcasă cu diametrul de 8 mm. Se mai observă un fapt important, și anume că masa circuitului integrat (CI-1) este separată de masa generală a amplificatorului, prin intermediul unei rezistențe $R_6 = 15\Omega$. Acest aranjament duce la o imunitate sporită a amplificatorului la zgomotul de fond, evită cuplajul „prin masă" și totodată implică realizarea practică a unui raport semnal-zgomot de valoare ridicată (S/N ≥ 85 dB).

Realizarea practică a montajului începe cu plăcuța de cablaj imprimat pe care se plantează componentele electrice. În vederea construcției practice a amplificatorului s-au prezentat în **figura 2.68** o variantă de cablaj imprimat (care a dat rezultate foarte bune), iar în **figura 2.69** modul de amplasare a componentelor electrice pe aceasta.

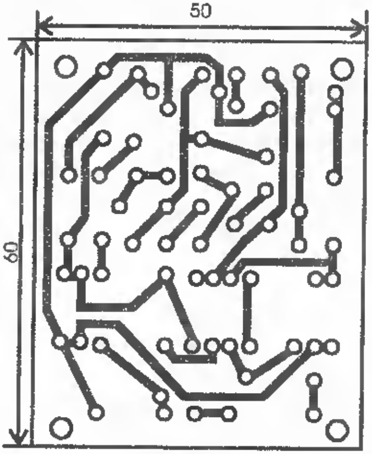


Figura 2.68

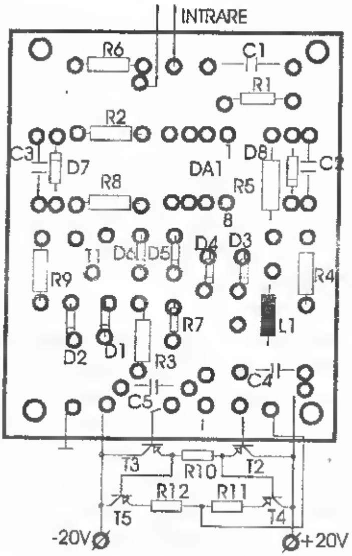


Figura 2.69

Se mai observă că cei doi dubleți complementari, împreună cu rezistențele R_{10}, R_{12} și R_2 (pentru care se recomandă realizarea unei mici plăcuțe de cablaj imprimat simple) se montează separat pe radiatorul de aluminiu destinat evacuării puterii disipate ($P_D = 0,4\ P_N$). El se realizează de preferință dintr-un profil de aluminiu dotat cu aripioare de răcire, astfel dimensionat încât să permită o răcire eficientă a tranzistoarelor prefinale și finale. Singurul reglaj al amplificatorului constă în stabilitatea valorii curentului de mers în gol $I_0 = 20$ mA, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_7.

A.A.F. de 20 W

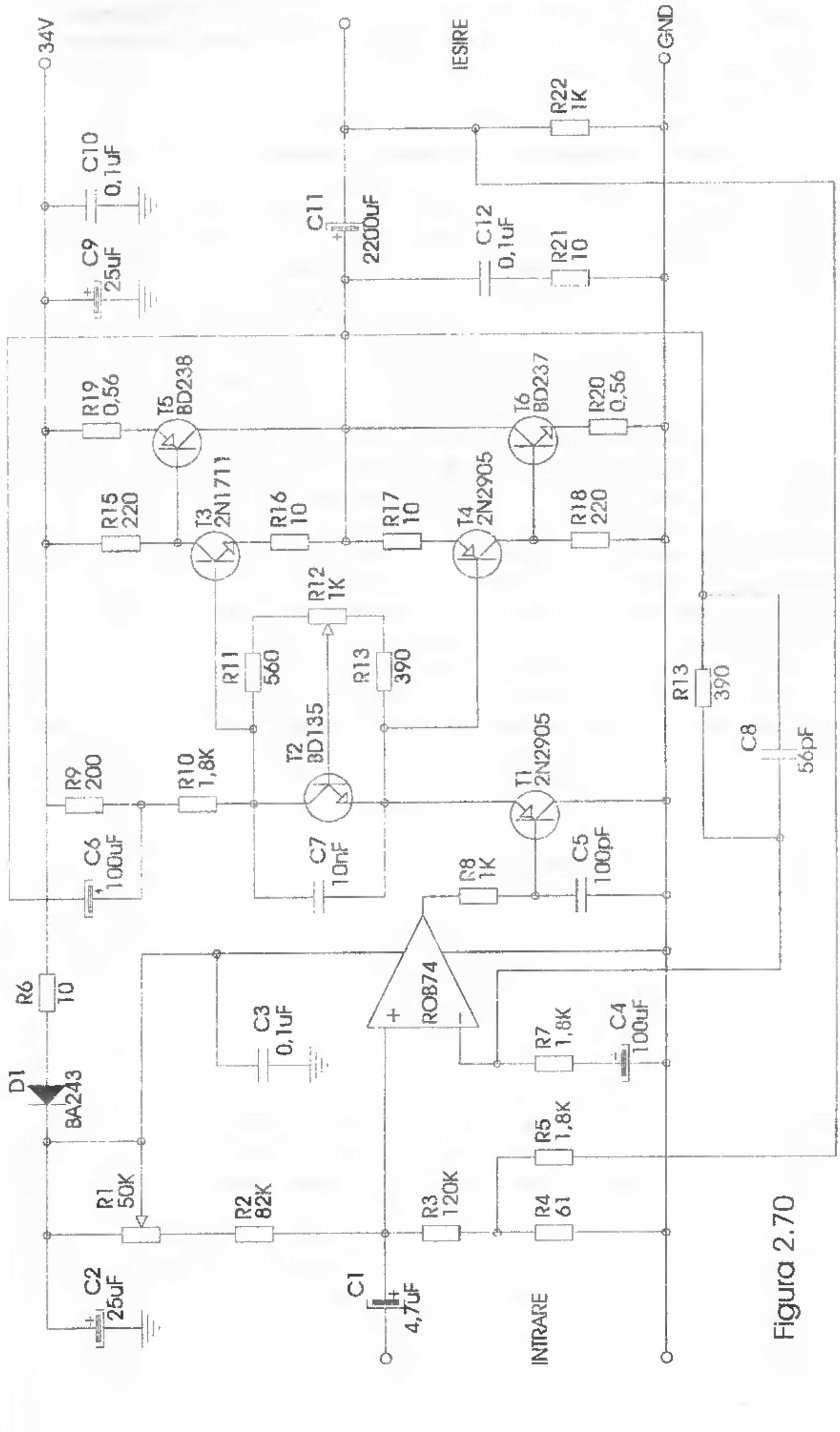
Asimilarea recentă în țară a unor componente electronice performante a făcut posibilă realizarea unor montaje performante la nivelul tehnicii actuale. Din această categorie face parte și amplificatorul audio de putere prezentat în această lucrare. Schema electrică a amplificatorului este prezentată în **figura 2.70**. Se observă că este vorba de un montaj hibrid, realizat cu tranzistoare și circuite integrate. El îmbină performanțele deosebit de ridicate ale amplificatoarelor operaționale cu posibilitatea realizării practice relativ simple, folosind pentru etajul final tranzistoare de putere fabricate în țară. Montajul deține următoarele performanțe:

– putere nominală P = 20 W;
– impedanța de intrare: $Z_i = 50\ k\Omega$;
– impedanța de ieșire: $Z_e = 4\ \Omega$;
– tensiunea de alimentare: $U_A = 34$ V;
– banda de frecvență: $\Delta_f = 15$ Hz÷25kHz;
– atenuarea la capetele benzii de frecvență: A = 2 dB;
– raport semnal-zgomot: S/N $\geq$ 80 dB;
– tensiunea de intrare: $U_i = 400\ mV_{RMS}$;
– distorsiuni armonice totale: THD $\leq$ 0,2%;
– distorsiuni intermodulație: TID $\leq$ 0,04%;
– slew-rate SR = 14 V/µs.

Semnalul de intrare se aplică prin intermediul condensatorului C1 la intrarea neinversoare a amplificatorului operațional ROB 74. Acesta îndeplinește în cadrul montajului următoarele funcțiuni:

– adaptor de impedanță;
– amplificator de tensiune;
– etaj pilot.

Polarizarea inițială în curent continuu a amplificatorului operațional ROB 74 este asigurată de către divizorul de tensiune realizat cu ajutorul reazistențelor R_1, R_2, R_3, R_5. Amplificarea finală în tensiune alternativă proprie circuitului integrat ROB 74 este definită de grupul $R_{14}C_8R_7C_4$, $A_U = (1 + R_{14}/R_{17})$. Se observă prezența grupului de rezistențe $R_{22}R_5$, care constituie împreună cu grupul $C_{11}R_4$ o buclă de reacție ce îmbunătățește foarte mult comportarea amplificatorului în timpul funcționării, atât în regim normal de lucru, cât și în timpul regimurilor tranzitorii (suprasarcina de scurtă durată, supracreșteri bruște de semnal etc.). Pentru o funcționare cât mai stabilă a amplificatorului operațional ROB 74, a fost prevăzut grupul $D_1R_6C_2$. El reprezintă un filtraj suplimentar al tensiunii de alimentare și totodată un rezervor de energie electrică pentru alimentarea cât mai uniformă a circuitului integrat ROB 74. În urma luării acestei măsuri de precauție, alimentarea lui este independentă de unele variații ale tensiunii de alimentare a montajului, care pot apărea în urma debitării puterii maxime (moment în care tensiunea de alimentare poate scădea).



34V
GND
IESIRE
INTRARE
C10 0,1uF
C9 25uF
C11 2200uF
C12 0,1uF
R21 10
R22 1K
R19 0,56
T5 BD238
T6 BD237
R20 0,56
R15 220
T3 2N1711
R16 10
R17 10
T4 2N2905
R18 220
R12 1K
R11 560
R13 390
R13 390
T2 BD135
C8 56pF
R9 200
R10 1,8K
T1 2N2905
C6 100uF
C7 10nF
R8 1K
C5 100pF
R6 10
RO874
C3 0,1uF
R7 1,8K
C4 100uF
D1 BA243
R5 1,8K
R1 50K
R2 82K
R3 120K
R4 61
C2 25uF
C1 4,7uF

Figura 2.70

La terminalul de ieșire al amplificatorului operațional ROB 74 a fost amplasat grupul R_8C_5, care reprezintă un filtru trece-jos. El are rolul de a bloca trecerea spre ieșirea montajului a componentelor de frecvență ultrasonoră (f > 25 kHz), fapt care sporește stabilitatea generală a amplificatorului, micșorează distorsiunile și mărește raportul final semnal-zgomot.

Semnalul pilot (semnalul audio-util amplificat în tensiune) de la ieșirea amplificatorului operațional ROB 74 este aplicat în baza tranzistorului T_1 prin intermediul rezistenței R_8. Tranzistorul T1 este amplasat în cadrul montajului într-o configurație de repetor pe emitor, realizând un etaj tampon între ieșirea amplificatorului operațional ROB 74 și etajul final amplificator de curent. Etajul final este realizat cu ajutorul dubleților T_3T_5 și T_4T_6. Ei reprezintă în cadrul montajului amplificatoare de curent complementare de tip Super-G, realizându-se configurația celor două tranzistoare complementare de putere NPN (T_3, T_5) și PNP (T_4, T_6). Rezistențele $R_{15}R_{16}$ și $R_{17}R_{18}$ au fost prevăzute pentru asigurarea funcționării pe o caracteristică liniară a primelor două tranzistoare aflate în componența celor doi dubleți complementari. Rezistențele R_{19} și R_{20} reprezintă reacții negative locale de curent, care, deși reduc într-o mică măsură puterea maximă de ieșire a etajului final, optimizează funcționarea celor doi dubleți complementari. În acest fel, sunt evitate din start posibilitățile de ambalare termică a tranzistoarelor finale T_5 și T_6, micșorate distorsiunile THD și TID și, totodată, eliminată posibilitatea de autooscilație a celor doi dubleți complementari. Polarizarea tranzistoarelor proprii etajului final, în vederea funcționării pe o caracteristică de transfer strict liniară, este realizată de către tranzistorul T_2. Împreună cu grupul $R_{11}R_{12}R_{13}C_7$, el constituie o sursă de tensiune reglabilă, destinată polarizării tranzistoarelor complementare în vederea funcționării etajului final în clasa AB. Grupul $C_{12}R_{21}$ constituie un filtru Bucherot amplasat în cadrul montajului în scopul prevenirii apariției unor oscilații nedorite în zona frecvențelor ultrasonore. Semnalul audio amplificat în putere este transmis la ieșirea montajului prin intermediul condensatorului C_{11}. Un filtru suplimentar al tensiunii de alimentare a montajului este realizat de către grupul de condensatoare C_9C_{10}. El are rolul de a bloca toate componentele de radiofrecvență ce s-ar putea transmite montajului prin intermediul conductoarelor de alimentare.

Realizare practică și reglaje

Montajul se realizează practic în varianta mono sau stereo pe o plăcuță de sticlostratitex placat cu folie de cupru. La realizarea traseelor de cablaj, se vor păstra cu strictețe toate regulile de lucru privitoare la montajele amplificatoare de tensiune (trasee de alimentare groase de minim 3 mm, traseu de masă cât mai gros, lipsa buclei de masă, structura de cuadripol a etajelor funcționale proprii montajului, montaj cât mai compact etc.).

După realizarea plăcuței de cablaj imprimat, se plantează componentele electrice având grijă ca fiecare dintre ele să fie verificate inițial. Tranzistoarele T_3T_4 și T_5T_6 vor avea același factor de amplificare în curent h_{21E}. Tranzistoarele T_3 și T_4 vor fi prevăzute cu mici radiatoare din tablă de aluminiu cu grosimea de 1 mm, cu suprafața de 6 cm^2. Tabla se roluiește inițial pe un dorn care are diametrul capsulei tranzistoarelor prefinale T_3T_4 și, ulterior, cilindrul de aluminiu obținut se amplasează pe acestea prin presare ușoară. Tranzistoarele finale se amplasează pe un radiator comun realizat din tablă de aluminiu de grosime 2 mm, având o suprafață minimă de 140 mm^2. Pe aceeași plăcuță se amplasează (între tranzistoarele finale) și tranzistorul T_2. Tranzistoarele T_5, T_6 și T_2 se izolează galvanic față de radiator, folosind plăcuțe de mică groase de cca. 0,2 mm, umectate inițial cu vaselină siliconică. Dintr-un tub izolant subțire (provenit

de la conductor) se realizează mici tuburi izolante pentru șuruburile de prindere a tranzistoarelor $T_2T_5T_6$. Între capetele șuruburilor de prindere și tranzistoarele menționate anterior se intercalează, de asemenea, câte o rondea izolantă din textolit. După realizarea conexiunilor galvanice se verifică montajul cu atenție, deoarece orice greșeală duce cel puțin la nefuncționarea acestuia la parametrii prevăzuți inițial. Se ștrapează la masă intrările montajului. Se alimentează montajul de la o sursă de tensiune continuă prevăzută cu un filtraj corespunzător (condensator de filtraj în valoare de 3300 µF), prin intermediul unei rezistențe de cca. 51 Ω/3 W. Curentul de mers în gol se reglează acționând cursorul potențiometrului semireglabil R_{12}, până la o valoare de cca. 15 mA (valoare care se va modifica ulterior). Se măsoară cu un voltmetru tensiunea din colectoarele tranzistoarelor T_5T_6 și, acționând cursorul potențiometrului semireglabil P_1, se modifică până când se obține valoarea $U = V_A/2 = 17$ V. Se întrerupe alimentarea montajului și se elimină rezistența de 15 Ω/3 W din circuitul de alimentare. Se realimentează montajul cu tensiune și se verifică prezența tensiunii $V_A/2 = 17$ V din colectoarele tranzistoarelor T_5T_6, iar în cazul unei diferențe se reajustează la valoarea indicată, acționând fin cursorul potențiometrului semireglabil R_1. Ulterior se modifică valoarea curentului de mers în gol în sensul creșterii lui până la $I_0 = 40$ mA, acționând cursorul potențiometrului semireglabil R_{12}. După aceste reglaje, cursoarele celor două potențiometre semireglabile se rigidizează cu câte o picătură de vopsea. Se întrerupe alimentarea montajului și se înlătură ștrapurile de la intrarea sa (sau intrările sale, dacă montajul este în varianta stereo). Reglajele susmenționate se realizează pentru fiecare canal informațional, dacă montajul a fost realizat în varianta stereo sau cuadro. După aceste reglaje, montajul se amplasează și se rigidizează mecanic în incinta unde urmează a funcționa. Se are în vedere ca radiatoarele tranzistoarelor finale să aibă asigurată o ventilație naturală, în scopul unui transfer termic corespunzător (prevenirea încălzirii excesive).

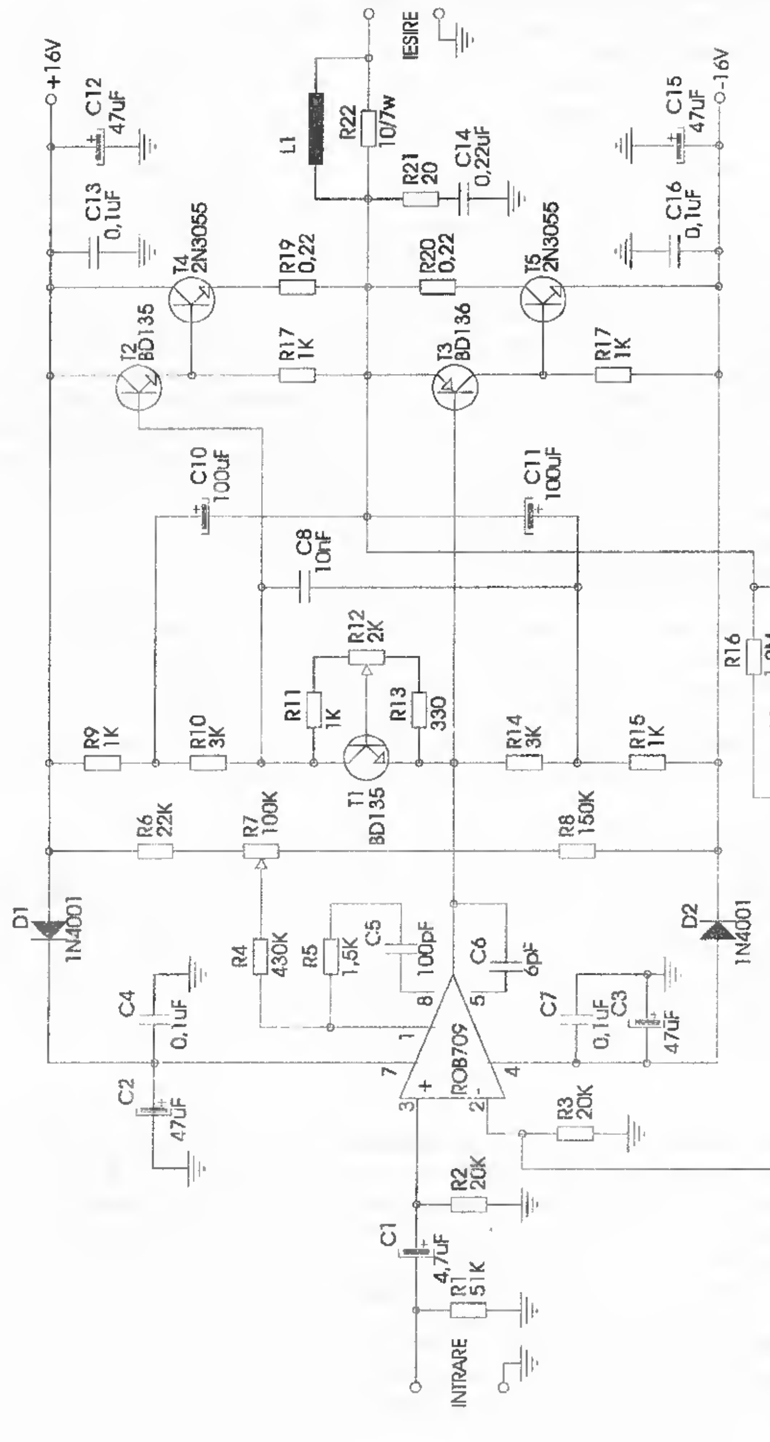
Odată realizat și montat, amplificatorul va confirma pe deplin performanțele estimate inițial, încadrându-se cu ușurință în clasa HI-FI.

A.A.F. de 25 W

Schema electrică a amplificatorului de 25 W, varianta 1, este prezentată în **figura 2.71**. El deține următoarele performanțe:

$P_N = 25$W	$\Delta f = 18$ Hz÷ 22 kHz
$Z_i = 20$ kΩ	S/N ≥ 65 dB
$Z_e = 4$ Ω	SR = 7 V/µs
$U_i = 400$ mV	THD ≤ 0,3%
$U_A = \pm 16$ V	TID ≤ 0,06 %

Se observă că semnalul audio de intrare se aplică, prin intermediul condensatorului C_1, la intrarea neinversoare a amplificatorului operațional CI-1 de tip ROB 74. El îndeplinește rolul etajului de intrare, amplificatorului de tensiune și al etajului pilot. În vederea funcționării optime a circuitului integrat CI-1, la terminalele sale de alimentare au fost prevăzute grupurile D_1C_2 și D_2C_3. Ele reprezintă practic rezervoare de energie electrică, care au rolul de a menține constantă valoarea tensiunii electrice destinate alimentării amplificatorului operațional, indiferent de variațiile de putere electrică utilă transmisă sarcinii (puterea sursei de alimentare fiind limitată, la depășirea puterii nominale tensiunea de alimentare de la bornele montajului poate scădea cu 1-2V).



+16V
-16V
IESIRE
INTRARE
C1 4,7uF
R1 51K
R2 20K
R3 20K
C2 47uF
C3 47uF
C4 0,1uF
C5 100pF
C6 6pF
C7 0,1uF
C8 10nF
C9 56pF
C10 100uF
C11 100uF
C12 47uF
C13 0,1uF
C14 0,22uF
C15 47uF
C16 0,1uF
R4 430K
R5 1,5K
R6 22K
R7 100K
R8 150K
R9 1K
R10 3K
R11 1K
R12 2K
R13 330
R14 3K
R15 1K
R16 1,2M
R17 1K
R17 1K
R19 0,22
R20 0,22
R21 20
R22 10/7w
L1
D1 1N4001
D2 1N4001
T1 BD135
T2 BD135
T3 BD136
T4 2N3055
T5 2N3055
ROB709

Figura 2.71

Tranzistorul T_1, împreună cu componentele electrice aferente (R_{11}, R_{12} și R_{13}), formează sursa de tensiune constantă de tip superdiodă, prevăzută pentru polarizarea în clasa AB de funcționare a etajului final. El este format din doi dubleți complementari, și anume T_2T_4 – dubletul NPN (Darlington) și T_3T_5 dubletul PNP (Super-G). În vederea optimizării funcționării etajului final, au fost prevăzute două conexiuni bootstrap, formate din grupurile $R_9R_{10}C_{10}$ și $R_{14}R_{15}C_{11}$. Stabilitatea în funcționare a etajului final este asigurată de filtrul Bucherot, ce include grupul $R_{21}C_{14}$, care previne oscilațiile amplificatorului în domeniul frecvențelor ultrasonore. Din același considerent a fost amplasat și condensatorul C_9 în bucla de reacție negativă globală ce definește amplificarea generală a montajului ($A = 1 + R_{16}/R_3$). O măsură suplimentară a stabilității în funcționare a amplificatorului o reprezintă și amplasarea la ieșirea acestuia a grupului L_1R_{22}. Bobina L_1 se bobinează direct pe rezistența R_{22}, având 18 spire din conductor de CuEm cu diametrul de 0,8 mm. Se menționează că grupurile $C_{12}C_{13}$ și $C_{15}C_{16}$ reprezintă filtraje suplimentare ale tensiunii de alimentare a amplificatorului $U_A = \pm 16$ V, amplasate direct pe plăcuțe de cablaj imprimat, pe care acesta se va realiza fizic. Dar pentru un filtraj eficient al tensiunii U_A, imediat după redresor se amplasează condensatoare de filtraj de cca. 2200 µF pe fiecare ramură a tensiunii U_A (pozitivă și negativă, filtraj față de masa montajului).

După realizarea practică a amplificatorului (ținând cont de toate cerințele menționate anterior în decursul acestei lucrări) se ștrapează intrarea lui și se trece la efectuarea reglajelor. Ca sarcină necesară reglajelor, se folosește o rezistență de 22 Ω/ 10 W, care se amplasează la ieșirea amplificatorului. Reglajele constau în stabilirea potențialului „0V" la ieșire, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_7. Urmează stabilirea valorii curentului de mers în gol $I_0 = 40$ mA, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_{12}.

O altă variantă de amplificator de 25 W – varianta 2 – este realizată conform schemei electrice prezentate în **figura 2.72**. El deține următoarele performanțe:

$P_N = 25$ W	$\Delta f = 20$ Hz÷150 kHz
$Z_i = 150$ kΩ	$S/N \geq 70$ dB
$Z_e = 4$ Ω	SR = 8 V/µs
$U_i = 850$ mV	THD ≤ 0,2% (f = 10 kHz, P_N)
$U_A = \pm 18$ V	TID ≤ 0,3 %

Analizând schema electrică a amplificatorului, se observă că circuitul integrat CI_1, care îndeplinește rolul de etaj de intrare, amplificator de tensiune și etaj pilot, comandă direct etajul final. Acesta este alcătuit din dubleții complementari simetrici T_1T_3 și T_2T_4. Tranzistoarele T_1 și T2 reprezintă montaje de tip repetor pe emitor, prevăzute pentru micșorarea impedanței de ieșire a circuitului integrat CI_1 și totodată pentru asigurarea curenților de comandă ai tranzistoarelor complementare T_3 și T_4. Polarizarea în clasa AB a tranzistoarelor T_3 și T_4 este asigurată de grupul D_3R_8. Amplificarea generală a montajului este reglementată de bucla de reacție negativă ce include elementele $C_2R_2R_3$ ($A = 1 + R_3/R_2$).

După realizarea practică a montajului, singurul reglaj constă în stabilirea valorii curentului de mers în gol $I_0 = 50$ mA, prin variația (dacă este necesar) cu maxim ± 15% a valorii rezistenței R_8.

Un alt amplificator de 25 W – varianta 3 -, ale cărui performanțe electrice sunt deosebit de bune, este realizat conform schemei electrice prezentate în **figura 2.73**.

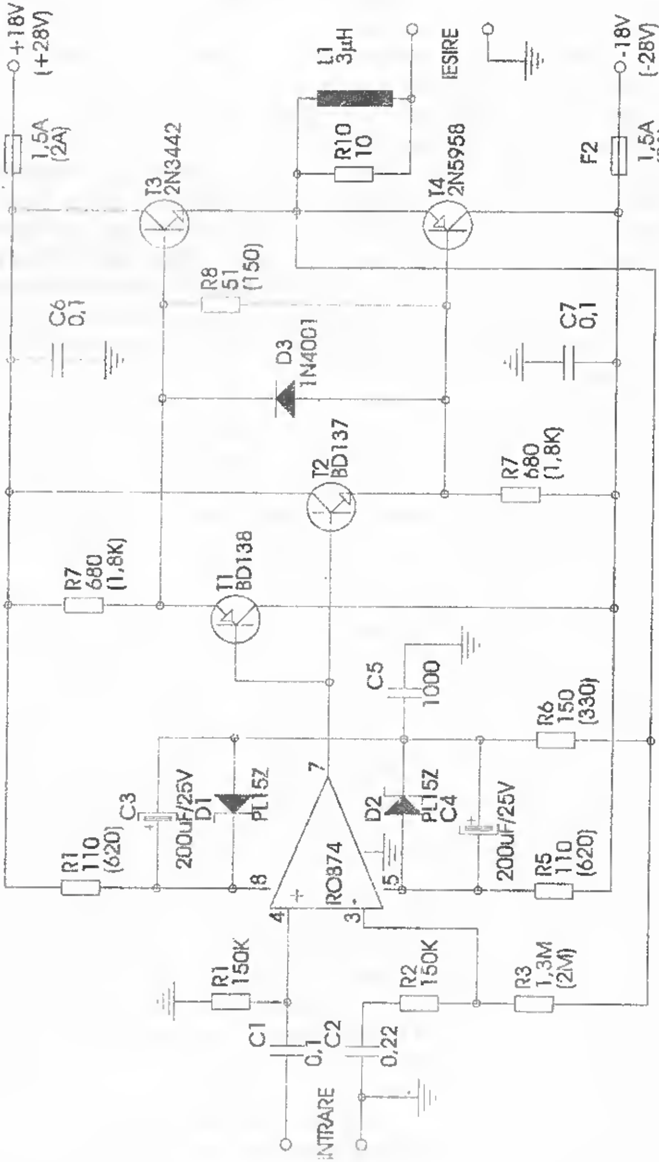
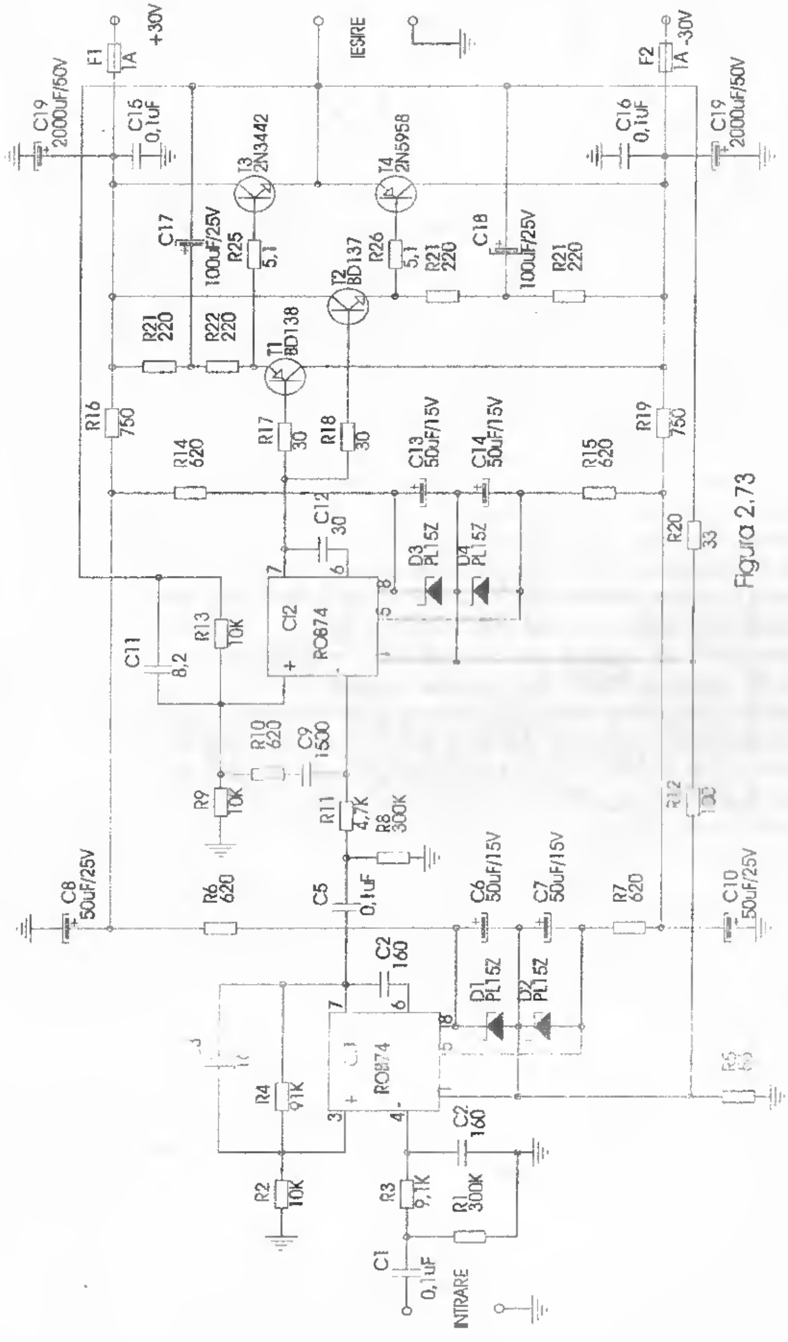

+18V
(+28V)
F1
1,5A
(2A)
T3
2N3442
L1
3μH
IESIRE
R10
10
T4
2N5958
F2
1,5A
(2A)
-18V
(-28V)
R8
51
(150)
C6
0,1
C7
0,1
D3
1N4001
T2
BD137
R7
680
(1,8K)
T1
BD138
C5
1000
R6
150
(330)
C3
200uF/25V
D1
PL15Z
D2
PL15Z
C4
200uF/25V
R1
110
(620)
R5
110
(620)
RO874
R1
150K
R2
150K
R3
1,3M
(2M)
C1
0,1
C2
0,22
INTRARE

Figura 2.72



+30V
F1 1A
IESIRE
F2 1A -30V
C19 2000uF/50V
C15 0,1uF
C16 0,1uF
C19 2000uF/50V
T3 2N3442
T4 2N5958
C17 100uF/25V
C18 100uF/25V
R25 5,1
R26 5,1
T2 BD137
T1 BD138
R21 220
R22 220
R21 220
R21 220
R16 750
R19 750
R14 620
R15 620
R17 30
R18 30
C13 50uF/15V
C14 50uF/15V
C12 30
D3 PL15Z
D4 PL15Z
CI2 ROB74
R13 10K
C11 8,2
R20 33
R10 620
C9 1500
R9 10K
R11 4,7K
R8 300K
R12 100
C8 50uF/25V
R6 620
C5 0,1uF
C6 50uF/15V
C7 50uF/15V
R7 620
C10 50uF/25V
C2 160
D1 PL15Z
D2 PL15Z
ROB74
R4 91K
R5 50
C2 160
R2 10K
R3 9,1K
R1 300K
C1 0,1uF
INTRARE

Figura 2.73

Amplificatorul deține următoarele performanțe:

P_N = 25 W	Δf = 16 Hz÷25 kHz
Z_i = 300 kΩ	S/N ≥ 30 dB
Z_e = 8 Ω	SR = 40 V/μs
U_i = 700 mV	THD ≤ 0,007%
U_A= + 30 V	TID ≤ 0,04 %

Deși configurația de bază a schemei electrice este oarecum asemănătoare cu a celei prezentate anterior, se observă că de această dată s-au introdus câteva îmbunătățiri substanțiale. Astfel, la intrarea amplificatorului a fost prevăzut filtrul trece-jos R_3C_2. El are rolul de a limita din start amplificarea semnalelor ultrasonore. Circuitul integrat CI_1 îndeplinește funcțiile de etaj de intrare, amplificator de tensiune și etaj pilot. De la ieșirea amplificatorului operațional CI_1, prin intermediul condensatorului C_5, semnalul audio amplificat se aplică la intrarea neinversoare a circuitului integrat CI_2. Acesta îndeplinește rolul de etaj tampon între etajul pilot și etajul final, facilitând o comandă eficientă și extrem de rapidă a tranzistoarelor aflate în componența acestuia. Se mai remarcă grupul $R_{10}C_9$, amplasat între intrările inversoare și neinversoare ale amplificatorului operațional CI_2. El are rolul de compensator de fază la amplificarea semnalelor de frecvență înaltă, fapt care duce practic la eliminarea distorsiunilor armonice, funcționarea amplificatorului devenind liniară în întreaga bandă audio. O perfecționare a etajului final, care are aceeași structură cu cea a amplificatorului din exemplul precedent, o reprezintă cele două conexiuni bootstrap, formate din grupurile $R_{21}R_{22}C_{17}$ și $R_{23}R_{24}C_{18}$. Datorită lor, caracteristicile de transfer ale etajului final devin practic liniare în toată banda audio. În vederea măririi substanțiale a raportului semnal-zgomot general al montajului, între masa montajului și masa proprie fiecărui amplificator operațional au fost amplasate rezistențe de valori mici R_5 = 56 Ω pentru CI_1 și R_{12} + R_5 = 56 Ω + 100 Ω = 156 Ω pentru CI_2. Sintetizând cele expuse până acum, se poate ușor vedea că, de fapt, CI_1 reprezintă amplificatorul de tensiune, iar CI_2 + T_1, T_2, T_3, T_4 – amplificatorul de curent. Se mai remarcă faptul că avem de-a face cu două bucle de reacție negativă interconectate, și anume reacția negativă de tensiune $R_2R_4C_3$ ($A = 1 + R_4/R_3$) și reacția negativă de curent $R_9R_{13}C_{11}$ ($A = 1 + R_{13}/R_9$). În vederea realizării practice a amplificatorului, în **figura 2.74. a** s-a prezentat o variantă de cablaj imprimat, iar în **figura 2.74. b** modul de amplasare a componentelor pe acesta. Montajul nu necesită reglaje, funcționând la parametrii nominali încă de la prima încercare.

A.A.F. de 30 W

Desigur că, o dată cu mărirea puterii transmise impedanței de sarcină, complexitatea schemei electrice a unui amplificator crește. Montajul a cărui schemă electrică este prezentată în **figura 2.75** prezintă următoarele performanțe:

P_N = 30 W	Δf = 20 Hz÷22 kHz
Z_i = 20 kΩ	S/N ≥ 70 dB
Z_e = 8 Ω	SR = 10 V/μs
U_i = 750 mV	THD ≤ 0,3% (20 kHz, P_N)
U_A = ± 30 V	TID ≤ 0,15 %

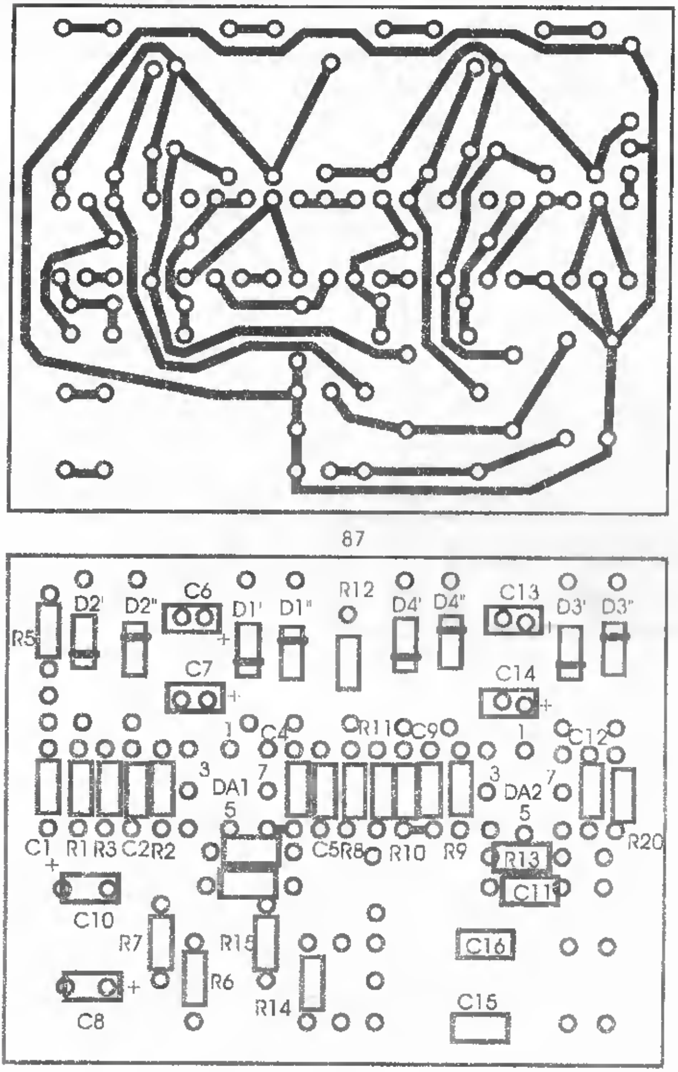


Figura 2.74

Un alt parametru deosebit de important al montajului îl reprezintă capacitatea de a funcționa stabil într-un domeniu extrem de larg de temperaturi, și anume -20°C ÷ +60°C. Analizând schema electrică a acestui amplificator, se remarcă inițial filtrul trece-jos $R_1C_1R_3$, care delimitează din start banda de trecere a amplificatorului cu limita superioară 22 kHz. Urmează amplificatorul operațional CI1, care îndeplinește rolurile de etaj de amplificare și etaj pilot. De la ieșirea amplificatorului operațional CI_1, semnalul audio amplificat se aplică unui etaj cascod dublu, format din tranzistoarele T_1T_2 și T_3T_4, care lucrează pe rând la amplificarea celor două semialternanțe (pozitivă sau negativă) ale semnalului audio amplificat. Din colectoarele tranzistoarelor T_1 și T_4, cele două semialternanțe ale semnalului audio amplificat sunt transmise dubleților

complementari Super-G T_5T_7 și T_6T_8, proprii etajului final, care refac forma de undă inițială a semnalului audio, de data aceasta amplificat în putere. Amplificarea generală a montajului este reglementată de bucla de reacție negativă care include elementele $R_5C_3R_4C_2$ ($A = 1 + R5/R_4$).

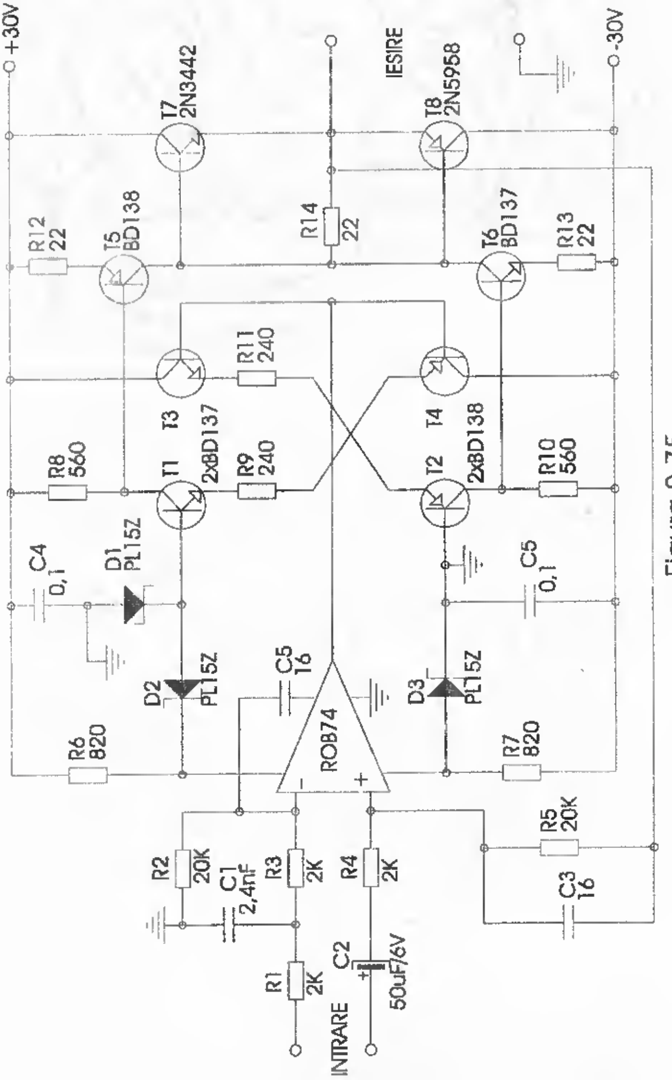


Figura 2.75

Pentru ușurarea realizării practice a amplificatorului, în **figura 2.76 a** este prezentată o variantă de cablaj imprimat, iar în **figura 2.76 b**, modul de aplicare a componentelor electrice pe aceasta.

Se precizează că amplificatorul nu are nevoie de reglaje, singura verificare fiind măsurarea (cu intrarea la masă) curentului de mers în gol I_0 = 36 mA. (I_0 = 30 mA – 60 mA).

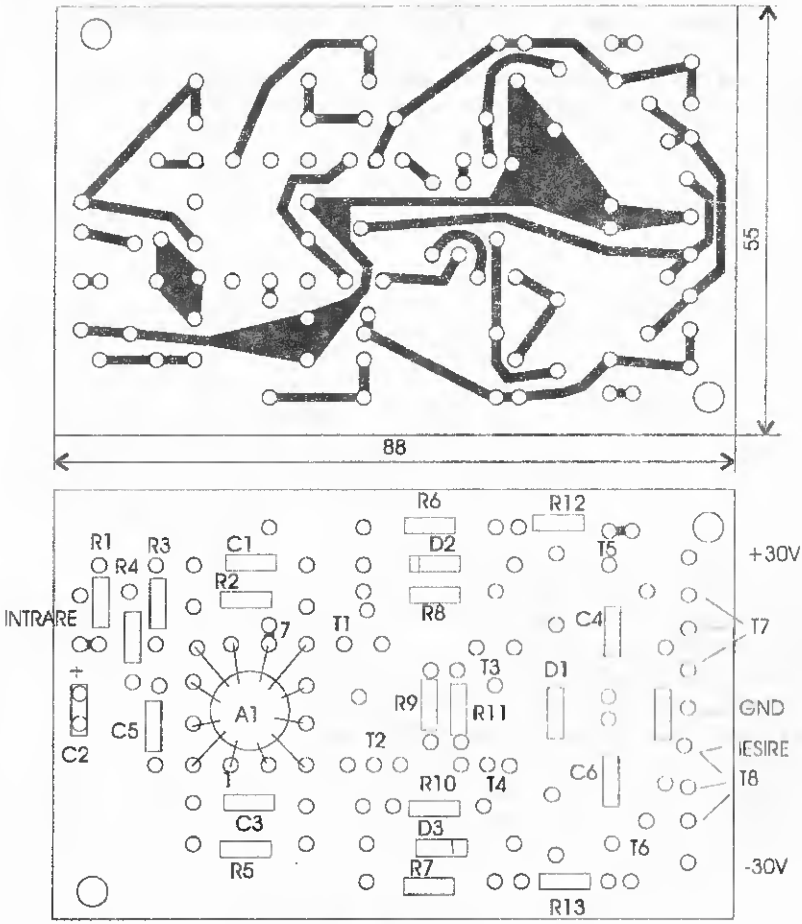


Figura 2.76

A.A.F. de 30 W – varianta 2

Realizarea unui amplificator de audiofrecvență de putere cu performanțe ridicate impune alegerea unui montaj care să îmbine calitățile superioare ale caracteristicilor de funcționare cu folosirea economică a energiei electrice. Performanțele amplificatorului sunt următoarele:

– tensiunea de alimentare V_{cc} = 38V;
– curentul de mers în gol I_0 = 35 mA;
– curentul maxim I_{max} = 3,2A;
– puterea maximă P_{max} = 30 W (A = –0,25 dB la extremități);
– banda de frecvență Δf = 16Hz÷22 kHz;
– distorsiuni armonice THD ≤ 0,5%;
– impedanța de intrare Z_i = 100 kΩ;
– impedanța de ieșire Z_e = 4 Ω;
– tensiunea nominală de intrare U_i = 150 mV;

– raport semnal/zgomot S/N ≥ 65 dB;
– amplificarea de tensiune A = 42 dB;
– distorsiuni de intermodulație TID ≤ 0,2%;

Schema electrică prezentată în **figura 2.77** are ca părți principale etajul de intrare, etajul pilot, circuitul de polarizare și etajul final de putere.

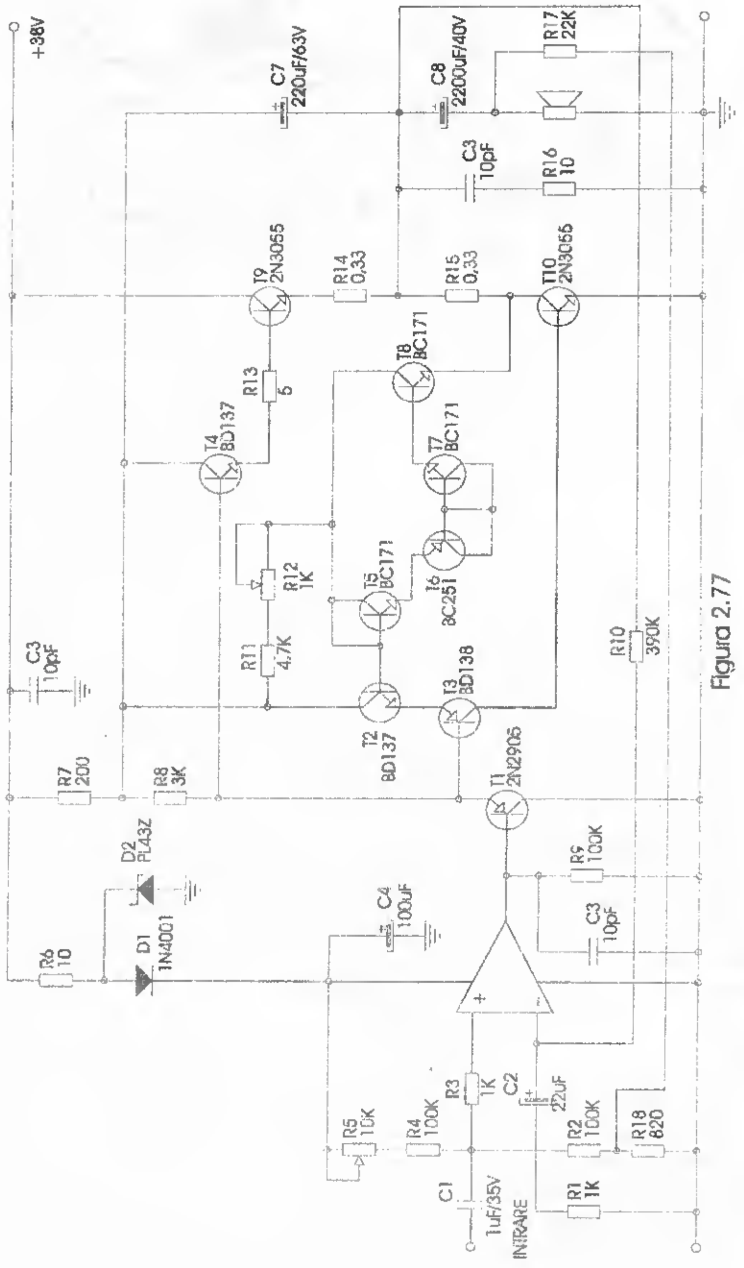


Figura 2.77

Semnalul de intrare se aplică prin intermediul condensatorului C_1 la intrarea neinversoare a amplificatorului operațional de tip βA741. Acesta oferă avantajele unei impedanțe de intrare ridicate și, în același timp, o bună stabilitate a parametrilor de funcționare la variațiile temperaturii mediului ambiant. Concomitent, există posibilitatea, folosită în cazul de față, de aplicare a unei reacții negative globale ieșire-intrare, acel „feed-back" necesar oricărui sistem electronic cu performanțe ridicate. Amplificatorul operațional realizează amplificarea semnalului de intrare, îndeplinind și funcția etajului pilot, de obținere a semnalului de comandă pentru etajul final de putere. Ieșirea amplificatorului operațional este conectată direct în baza tranzistorului T_1. Tranzistorul T_1 funcționează ca repetor pe emitor, având rolul de etaj tampon între amplificatorul operațional și etajul final de putere. Etajul final face parte din categoria montajelor în contratimp, clasa AB, pentru obținerea unui randament ridicat și a unor distorsiuni cât mai mici. În vederea măririi randamentului și a micșorării consumului de energie, s-a ales o schemă de polarizare care permite saturarea celor două tranzistoare finale. Se obține în acest fel o excursie maximă a semnalului debitat de etajul pilot, între valorile Vcc – V_{SAT} T_9 și $V_{SAT}T_{10}$. Astfel, posibilitățile sursei de alimentare se folosesc cu randament maxim pentru etajele finale, care funcționează în clasa AB. Să analizăm soluția, aparent complicată, adoptată pentru etajul final de putere.

Circuitul de polarizare format din tranzistoarele $T_5T_6T_7$ și T_8 asigură funcționarea tranzistoarelor finale T_9 și T_{10} în clasa AB. Circuitul de polarizare permite obținerea unui curent de repaos suficient pentru evitarea distorsiunilor de racordare ale celor două semialternanțe, care compun semnalul util (cross-over). Din schema electrică a montajului rezultă imediat că circuitul de polarizare asigură tensiunea de valoare $4V_{BE}$, necesară polarizării tranzistoarelor T_4, T_9, T_3 și T_{10}. Astfel se justifică prezența celor patru tranzistoare în circuitul de polarizare, primele trei fiind conectate ca diode, soluție impusă de necesitatea de a compensa variațiile tensiunilor bază-emitor ale tranzistoarelor T_3, T_9 și T_{10}, T_4 cu temperatura. Întrucât toate tensiunile bază-emitor variază practic la fel cu temperatura, rezultă că, dacă am realizat egalitatea dintre suma tensiunilor bază-emitor ale tranzistoarelor din lanțul de polarizare și suma tensiunilor bază-emitor ale tranzistoarelor etajului final, am obținut compensarea termică necesară, care se va menține pe un interval larg de variație a temperaturii. În același scop, de prevenire a unei ambalări termice excesive a tranzistoarelor finale, sunt conectate rezistențele R_{19} și R_{15}, care, deși produc o mică reducere a puterii etajului final, sunt absolut necesare pentru buna funcționare a acestuia. Analizând funcționarea celor doi dubleți T_4, T_9 și T_3, T_{10} din etajul final, se observă că, pentru semialternanța negativă a semnalului util, limita inferioară a tensiunii este impusă de tensiunea de saturație a tranzistorului T_{10}.

Se observă că:

$$V_{BC10} = V_{BE8} + V_{BE7} + V_{BE6} - V_{BE5} - V_{BE3} - V_{E1} + V_{BE10} \approx 3V_{BE} - V_{E1}$$

Din relația de mai sus rezultă că, imediat ce $V_{E1} < 3V_{BE}$, tranzistorul T_{10} se saturează, deoarece V_{BC} T_{10} devine pozitiv. Pentru semialternanța pozitivă a semnalului util, în scopul saturării tranzistorului T_9, se folosește o conexiune de tip bootstrap. Condensatorul C_9 încărcat la potențialul $V_{CC}/2$ îndeplinește condiția saturării tranzistorului T_9, deoarece se observă că $U_{cond.}$ $C_7 = V_{CC}/2 > V_{BE4} + V_{BE9} + V_{R13}$, iar $V_{R13} = R_{13}C_{13} < 0{,}6$ V.

Utilizarea unei conexiuni de tip bootstrap mai are o consecință favorabilă și anume, asigură automat funcționarea tranzistorului T_2 fără a intra în saturație, fapt important deoarece tranzistorul T_2 asigură curentul de emitor al tranzistorului T_3. Tranzistorul T_2 are totodată rolul de etaj tampon față de circuitul de polarizare.

Pentru buna funcționare a amplificatorului s-au luat o serie de măsuri de protecție.

Cuplajul etajului final de putere cu impedanța de sarcină (difuzoarele) se face capacitiv, cu ajutorul condensatorului C_8. În acest fel se realizează o separație galvanică între amplificator și sarcină, evitându-se apariția în difuzoare a unei componente de curent continuu nedorite. Pentru suprimarea eventualelor oscilații ale etajului final pe o frecvență foarte înaltă, s-a prevăzut grupul $R_{16}C_6$. În scopul protejării circuitului integrat βA741 în ceea ce privește depășirea accidentală a tensiunii de alimentare, s-a prevăzut dioda Zenner D_2. Grupul D_1C_4 are rolul de a menține constantă tensiunea de alimentare a circuitului integrat βA741, chiar atunci când etajul final debitează puterea maximă și V_{CC} ar putea scădea. În acest fel, se evită distorsiunile care ar putea fi cauzate de etajul pilot. Protecția generală a amplificatorului este realizată de siguranța S_1.

După realizarea atentă a cablajului imprimat, se montează componentele și se reverifică montajul, deoarece orice greșeală poate fi catastrofală pentru amplificator. Tranzistorii T_9, T_{10} și T_2, T_3 T_4 trebuie să aibă același h_{21E}. Se folosesc componente verificate ca valori și de bună calitate. Tranzistoarele finale se vor monta pe radiatoare corespunzător dimensionate în ceea ce privește puterea maximă disipată $P_D \geq 0,4\ P_N$. Se prevăd radiatoare și pentru tranzistoarele prefinale, iar grupul de tranzistoare T_5, T_6, T_7, T_8 se montează separat pe o plăcuță de cablaj imprimat și apoi se pune pe radiatorul tranzistoarelor finale. Amplificatorul se alimentează de la o sursă de tensiune continuă stabilizată și bine filtrată. Operațiile de reglaj constau în reglajul curentului de mers în gol, din potențiometrul semireglabil R_{12} și reglajul în punctul „A" al tensiunii $V_{CC}/2$, din potențiometrul semireglabil R_6. Dacă constructorul dispune de un generator de audio frecvență și un osciloscop, cu ajutorul unei rezistențe de sarcină montate la ieșirea amplificatorului se pot vizualiza cele două semialternanțe ale semnalului de ieșire, urmărind limitarea lor simetrică la depășirea valorii maxime a semnalului de intrare.

Se atrage atenția că reglajul curentului de mers în gol și al tensiunii în punctul „A" trebuie făcut cu intrarea amplificatorului conectată la masa montajului. Montajul se poate realiza și în varianta stereo, reglajele susmenționate făcându-se separat pentru fiecare canal. Executat și pus la punct, montajul va da satisfacție deplină constructorului, devenit posesor al unui amplificator cu performanțe la nivelul cerințelor moderne.

A.A.F. de 40 W

Realizarea unor amplificatoare operaționale performante în producția de serie autohtonă a făcut posibilă abordarea unor montaje complexe, ale căror caracteristici esențiale sunt construcția practică simplă, alături de obținerea unor performanțe electrice foarte bune. Din această categorie face parte și amplificatorul audio de putere prezentat în cele ce urmează. Performanțele montajului sunt următoarele:

– putere nominală $P_N = 40$ W;
– impedanța de sarcină $Z_s = 4\ \Omega$;
– impedanța de intrare $Z_i = 30\ k\Omega$;
– alimentare cu energie: sursă dublă de tensiune continuă $U_A = \pm 20V$;
– banda de frecvențe: $\Delta f = 15$ Hz÷20 kHz;
– atenuare la capetele benzii de frecvență: A = +3dB;
– raport semnal/zgomot $S/N \geq 65$ dB;
– distorsiuni armonice totale: THD ≤ 0,2%;
– distorsiuni de intermodulație: TID ≤ 0,08%.

Schema electrică a amplificatorului este prezentată în **figura 2.78**. Semnalul audio util se aplică prin intermediul condensatorului C_1 și al rezistorului R_1 la intrarea inversoare a amplificatorului operațional βA741.

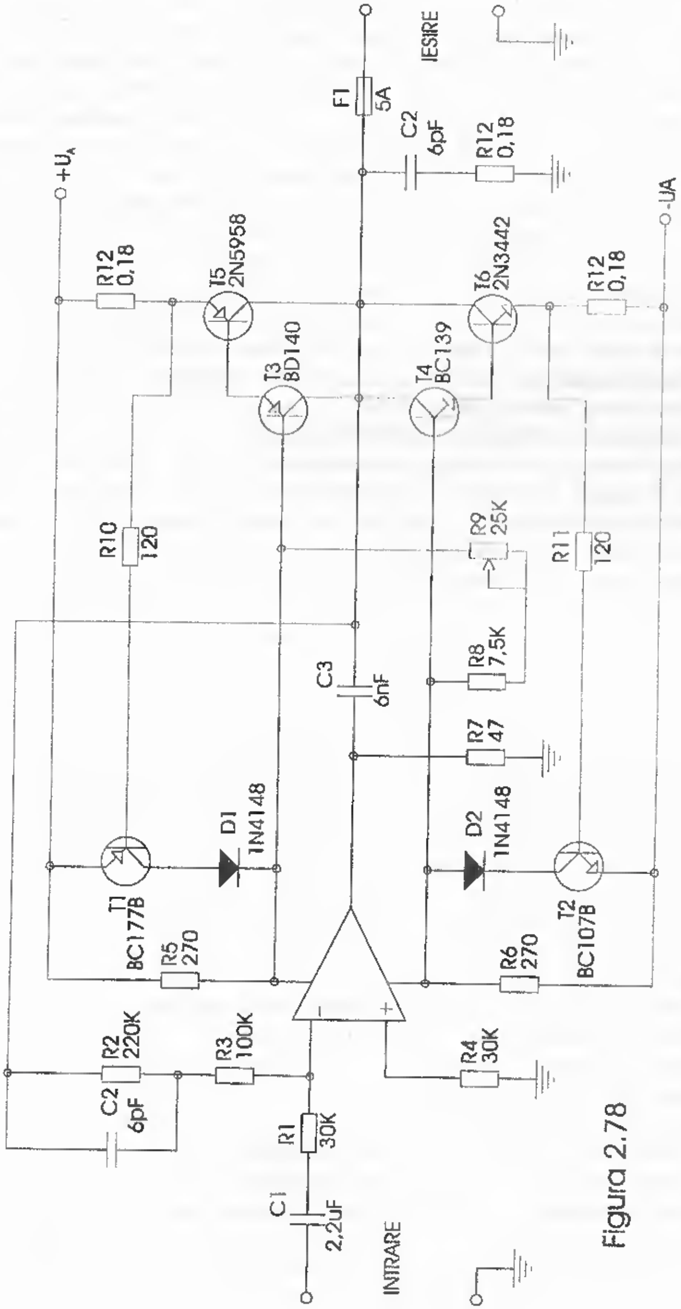


Figura 2.78

El îndeplinește în cadrul montajului următoarele funcțiuni:

– etaj de intrare;

– amplificator de tensiune;

– etaj pilot.

Datorită valorii mari a factorului de rejecție al tensiunii de alimentare SVR deținut de amplificatorul operațional βA741, curenții preluați de la sursa dublă de tensiune reproduc cu fidelitate forma de variație în timp a semnalului amplificat, fiind totodată în opoziție de fază ($\tau(I_1) = \tau(I_2) + 180°$). Aplicând la ieșirea amplificatorului operațional o sarcină optimă (R_7 = 47 Ω), el devine practic un generator de curent care poate pilota un etaj final constituit din ramuri complementare NPN și PNP, dimensionat corespunzător sarcinii utile în ceea ce privește curentul nominal de lucru al amplificatorului. Etajul final este format din doi dubleți complementari amplificatori de curent de tip Darlington, și anume T_3T_5, de tip PNP și T_4T_6, de tip NPN. Semnalul amplificat în tensiune, preluat de pe ramurile de alimentare pozitivă și negativă a circuitului integrat βA741, este aplicat simultan celor doi dubleți complementari (în bazele tranzistoarelor T_3 și T_4). În urma acestui fapt se obține amplificarea în curent (și practic amplificarea în putere) a semnalului audio util, rezultat urmărit de la început. Amplificarea generală a montajului este reglementată de bucla generală de reacție negativă, formată din grupul R_2, C_2, R_3, R_1, $A = (R_2 + R_3)/R_1$. Rezistoarele R_2 și R_3 determină totodată și o reacție negativă de curent continuu, fapt care are ca efect menținerea unei tensiuni nule la ieșire în regim static de funcționare a montajului (în lipsa semnalului de intrare). Acest lucru este valabil și dacă cele două tensiuni de alimentare U_A și $-U_A$ nu sunt perfect egale în valoare absolută. În vederea asigurării unei stabilități sporite a amplificatorului operațional βA741 în zona limitei superioare a benzii de audiofrecvență, s-a asigurat o compensare în frecvență prin amplasarea condensatoarelor C_2 și C_3, în zona buclei de reacție negativă generală. Condensatorul C_2 nu permite amplificarea frecvențelor ultrasonore (f > 20 kHz), iar condensatorul C_3 introduce o compensare în frecvență cu avans de fază, în vederea optimizării formei semnalului de ieșire amplificat în zona frecvențelor înalte (f ≥ 10 kHz). Valorile rezistoarelor R_5 și R_6 s-au ales astfel încât, în regim static de funcționare, cei doi dubleți complementari să fie aproape blocați (funcțioarea etajului final în clasa AB). S-a asigurat printr-un artificiu suplimentar reglajul curentului de mers în gol, determinat de relațiile: $R_5 = R_6$,

$(R_5 + R_6)(I_{10} + I_d) = 2{,}4$ V (4 x 0,6 V), unde:

I_{10} – curentul de mers în gol al amplificatorului operațional βA741,

I_{10} – 1,7 mA (data de catalog).

Id – curentul prin rezistoarele R_5 și R_6.

În urma efectuării calculelor se obține:

$R_5 = R_6 = 270$ Ω

La elaborarea schemei electrice a montajului, s-a ținut cont de posibilitatea apariției unor distorsiuni precum:

– distorsiuni neliniare de nesimetrie a potențialului de ieșire, care pot apărea pronunțat la livrarea puterii nominale;

– distorsiuni de tip CROOSVER (neracordarea semialternanțelor tensiunii amplificate, la trecerea prin zero a semnalului audio util).

Distorsiunile neliniare de nesimetrie s-au eliminat din start, printr-o polarizare adecvată a etajului final, astfel încât bucla de reacție negativă de curent continuu, formată din rezistoarele R_2 și R_3, aplicată circuitului integrat βA741, menține în permanentă simetrie potențialul de ieșire față de tensiunile de alimentare U_A și $-U_A$ (deci, $U_{iesire} = 0$ când $U_i = 0$), chiar și în cazul în care acestea nu sunt perfect egale în

valoare absolută. Distorsiunile neliniare de tip CROSSOVER s-au eliminat prin amplasarea grupului R_8R_9, care face posibil un reglaj fin al curentului de mers în gol propriu celor două tranzistoare finale (I_0 = 40 mA).

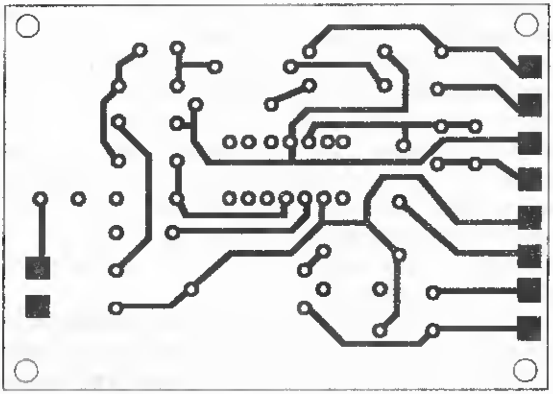
În vederea protejării amplificatorului la suprasarcină și la scurtcircuit s-au prevăzut unele mijloace simple și eficiente. Grupurile T_1D_1 și T_2D_2 realizează în momentul suprasarcinii o protecție la supracurent de tip CLIPPING (limitarea curentului maxim de ieșire la o valoare prestabilită). Rezistoarele R_{12} și R_{13} au rol și de sesizori de suprasarcină, deoarece imediat ce curentul de ieșire depășește valoarea maximă ($I \geq 2 \times (1{,}05...1{,}15)I_N$), căderile de tensiune de pe acestea determină intrarea în stare de conducție a tranzistoarelor T_1 și T_2. Acest fapt implică blocarea curenților din bazele tranzistoarelor T_3 și T_4, deci, în final, blocarea curentului livrat de cei doi dubleți complementari.

Rezistoarele R_{12} și R_{13} amplasate în emitoarele tranzistoarelor finale T_5 și T_6 îndeplinesc în același timp funcția de reacții negative locale de curent. Deși ele reduc într-o mică măsură puterea de ieșire a etajului final, faptul este pe deplin compensat de îmbunătățirea calitativă funcțională a acestuia. De asemenea, acest amplasament sporește stabilitatea termică generală a etajului final într-un domeniu larg de temperaturi de funcționare, deoarece imediat ce apare, datorită încălzirii, tendința de modificare a curentului de mers în gol, se produce și modificarea căderii de tensiune la bornele celor două rezistoare, restabilindu-se prin compensație situația inițială stabilă în privința polarizării.

Pentru asigurarea stabilității montajului la frecvențe înalte și totodată la funcționarea în regimuri tranzitorii (porniri, opriri, creșteri bruște de sarcină), s-a prevăzut filtrul BUCHEROT format din grupul C_4, R_{14}. El are rolul de a împiedica funcționarea amplificatorului în zona frecvențelor ultrasonore, blocând introducerea acestora în bucla de reacție negativă C_2, R_2, R_3, R_1 care reglementează amplificarea finală a montajului. Protecția la scurtcircuit accidental al sarcinii este asigurată de prezența siguranței fuzibile F_1 pe traseul circuitului de ieșire al amplificatorului.

Realizare practică și reglaje

Montajul se realizează practic pe o plăcuță de sticlostratitex placat cu folie de cupru. Modul de realizare a cablajului imprimat este prezentat în **figura 2.79 a**, iar dispunerea componentelor electrice este prezentată în **figura 2.79 b**. Din considerente de zgomot minim și stabilitate în funcționare a montajului, alimentarea cu energie electrică se execută separat, și anume un grup de conductoare (ϕ = 0,75 mm) pentru cablajul plăcuței (bornele de alimentare marcate), iar pentru cei doi dubleți împreună cu componentele R_{12}, R_{13}, R_{14}, C_4 (dispuse pe altă plăcuță de cablaj imprimat) alt grup de conductoare (ϕ = 1,5 mm). Modul de realizare a cablajului imprimat care interconectează tranzistoarele de putere T_5, T_6 și componentele R_{12}, R_{13}, R_{14}, C_4 este prezentat în **figura 2.80**. Menționăm că sudurile și amplasamentul componentelor enumerate anterior se realizează, după efectuarea legăturilor galvanice, prin șuruburile de prindere, cu tranzistoarele T_5 și T_6, direct pe partea de cablaj, lăsând între componente și traseele de cablaj o distanță de cca. 3 mm. Plăcuța de cablaj imprimat cu aceste componente se rigidizează în spatele radiatorului pe care se amplasează tranzistoarele T_5 și T_6 chiar cu șuruburile de prindere ale acestora. Șuruburile se izolează față de radiator prin tuburi izolante (provenind de la un conductor mai gros, care a fost dezizolat) și șaibe izolante, care vor îndeplini concomitent și rolul de distanțori plăcuță-radiator. Șuruburile de prindere constituie totodată legături galvanice între colectoarele tranzistoarelor T_5-T_6 și plăcuța cu piese.



72,5x55 a)

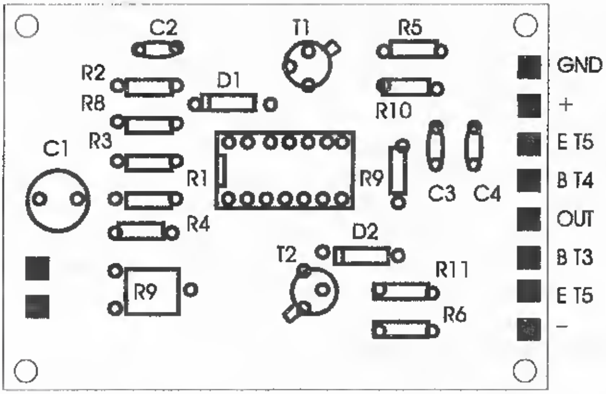
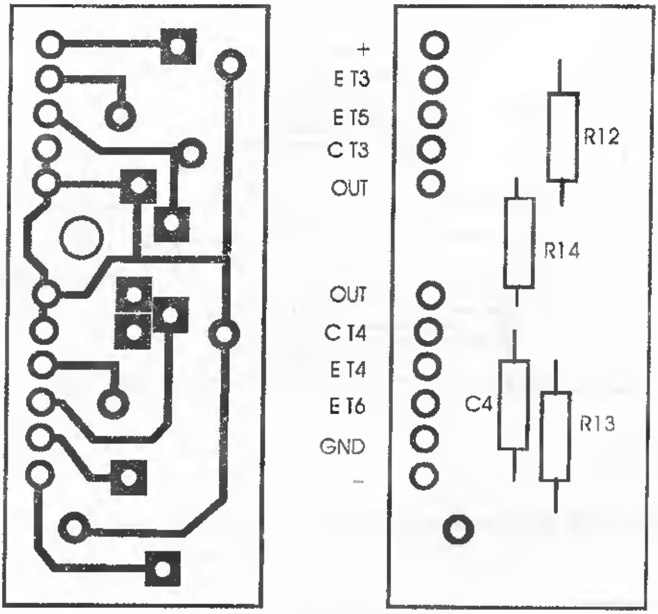


Figura 2.79 b)

Pentru izolarea galvanică între tranzistoarele T_3, T_4, T_5, T_6 și radiatorul comun, se folosesc folii de mică de grosime 0,2-0,3 mm, umectate cu vaselină siliconică. Radiatorul pentru tranzistoarele prefinale și finale se realizează dintr-un profil de aluminiu, similar cu cel prezentat în **figura 2.81**. În lipsa acestuia, radiatorul se poate confecționa din tablă de aluminiu de grosime 2-2,5 mm, cu o suprafață minimă de cca. 250 mm². În acest caz însă, dimensiunile radiatorului vor fi mult mai mari. După montarea tranzistoarelor prefinale și finale pe radiatorul comun, se montează plăcuța cu componentele R_{12}, R_{13}, R_{14}, C_4 și se rigidizează corespunzător. Folosind o tablă de aluminiu cu grosimea de 2 mm, îndoită sub formă de L, se rigidizează partea verticală a radiatorului. Ulterior, se montează plăcuța cu componentele pe partea orizontală a L-ului, folosind distanțori izolați.

Se realizează legăturile galvanice plăcuță montaj -tranzistoare prefinale – plăcuță componente, ținând cont de schema bloc și notațiile suplimentare din **figura 2.82**.

O altă variantă de amplificator de 40 W este prezentată în **figura 2.83**.



a) b)

Figura 2.80

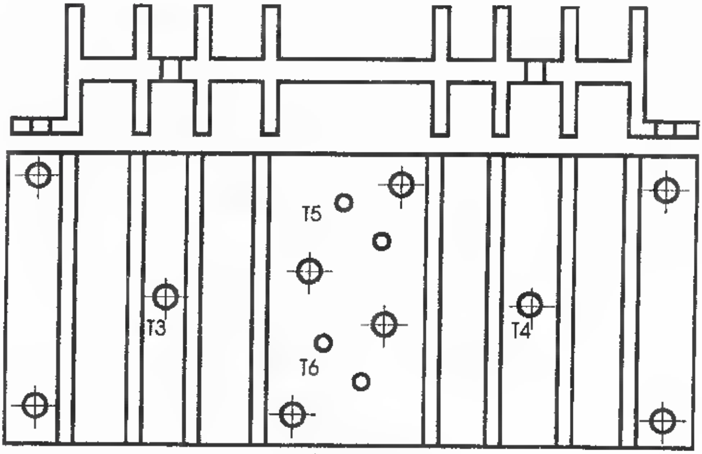


Figura 2.81

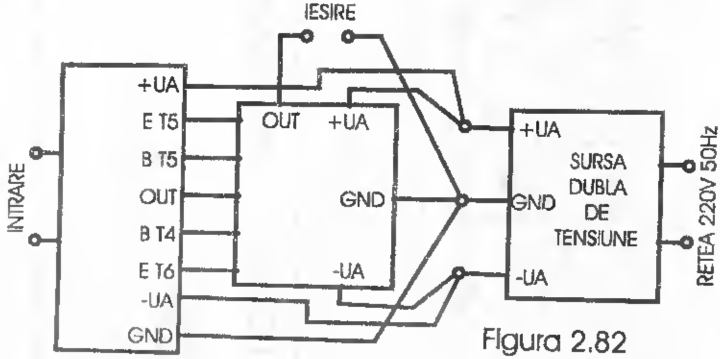


Figura 2.82

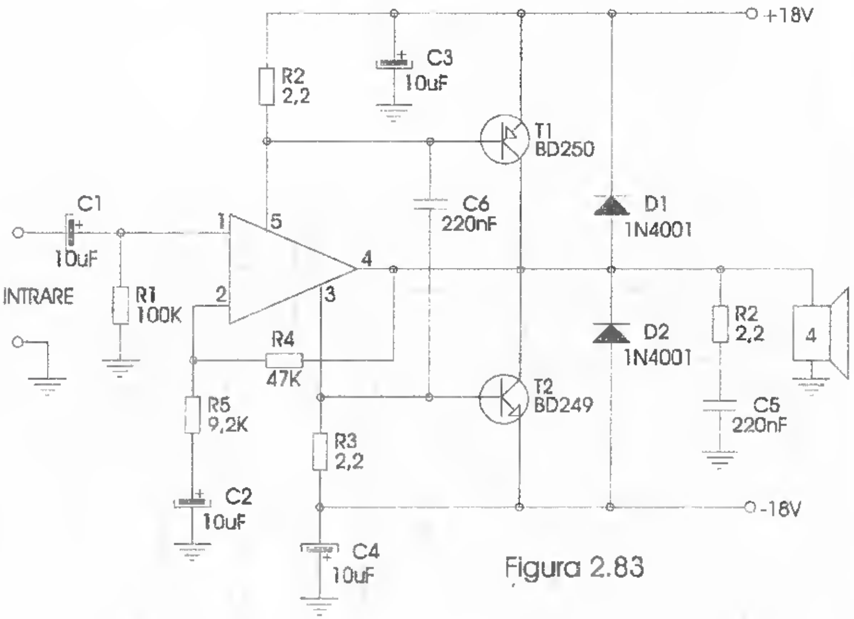


Figura 2.83

El deține următoarele performanțe:

P_N = 40W	Δf = 18 Hz÷22 kHz
Z_i = 100 kΩ	S/N ≥ 75 dB
Z_e = 4 Ω	SR = 7 V/μs
U_i = 250 mV	THD ≤ 0,2%
U_A = ± 18 V	TID ≤ 0,04 %

Se observă rolul de etaj de intrare- amplificator de tensiune- etaj pilot al circuitului integrat CI_1. Deoarece variația curentului de alimentare reflectă identic variația semnalului audio de intrare, el poate fi folosit la comanda unor tranzistoare complementare de putere, mărindu-se în acest mod puterea nominală livrată de amplificatorul operațional, de această dată specializat pentru amplificarea audio. Modul de realizare practică a plăcuței de cablaj imprimat – varianta stereo – este prezentat în **figura 2.84**, amplasarea componentelor electrice în **figura 2.85**, iar modul practic de realizare a montajului în **figura 2.86.**

A.A.F. de 50 W

Schema electrică a amplificatorului este prezentată în **figura 2.87**, iar performanțele lui sunt următoarele:

P_N = 50W	Δf = 18 Hz÷22 kHz
Z_i = 10 kΩ	S/N ≥ 65 dB
Z_e = 4 Ω	SR = 7 V/μs
U_i = 200 mV	THD ≤ 0,5%(10kHz, P_N)
U_A = 50 V	TID ≤ 0,2 %.

Corecții în banda audio: ±18 dB la 100 Hz, 320 Hz, 800 Hz, 3 kHz, 7 kHz.

Analizând schema electrică a montajului, prezentată în **figura 2.87**, se observă că de această dată amplificatorul de putere este realizat într-o variantă mai deosebită. El oferă posibilitatea efectuării unor corecții de ton în bandă audio, fapt care aduce montajului un plus de atractivitate și utilitate. Se observă că amplificatorul are în componența sa un circuit integrat CI_1 de tip TBA790, care realizează funcțiile de etaj de intrare, amplificator de tensiune și etaj pilot.

Circuitul integrat TBA790 a fost amplasat în cadrul montajului în scopul obținerii la ieșirea sa – ieșirea pilot – a unei impedanțe de ieșire de valoare scăzută (sute de ohmi), absolut necesară îndeplinirii și funcției de corecție amplitudine-frecvență în banda audio cu distorsiuni minime. S-a lucrat cu o impedanță mică în scopul majorării din start a raportului semnal-zgomot al amplificatorului. Grupul D_1R_7 realizează funcția de stabilizator al tensiunii de alimentare a circuitului integrat CI_1, indiferent de regimul de lucru al amplificatorului (suprasarcini, regimuri tranzitorii etc.). Se recomandă ca, înainte de amplasarea în montaj, să se verifice tensiunea Zenner a diodei D_1 (există o plajă de variație menționată de fabricant în catalog), care nu trebuie să depășească 15 V (altfel se deteriorează circuitul integrat, care nu suportă o tensiune mai mare de 15 V). Pentru acest lucru se înseriază, pe circuitul sursei de alimentare a amplificatorului, rezistența R_7, și ulterior se măsoară cu ajutorul unui voltmetru tensiunea Zenner a diodei D_1. De la ieșirea circuitului integrat CI_1, prin intermediul rezistenței R_5, semnalul audio amplificat în tensiune se aplică în baza tranzistorului T_1. Grupul T_1T_2 reprezintă un amplificator de tensiune de tip Super-G, îndeplinind funcția etajului pilot al amplificatorului.

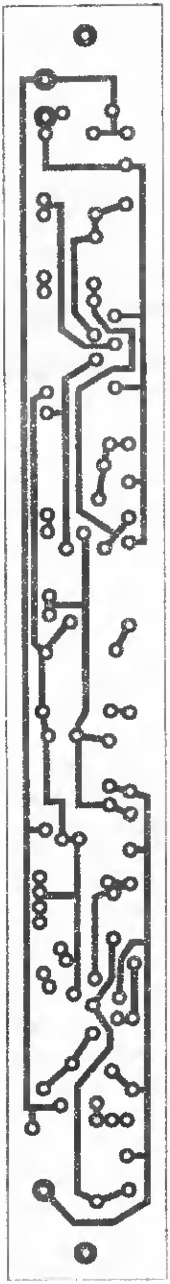


Figura 2.84

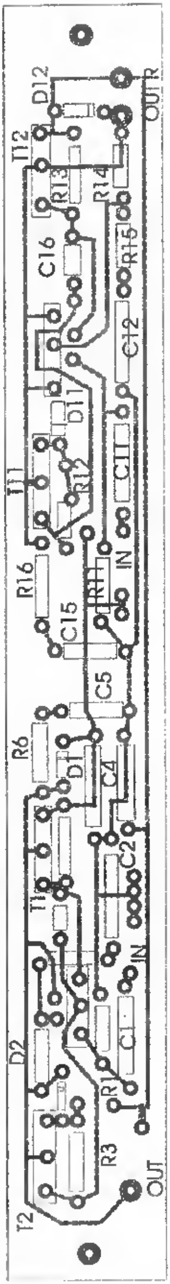


Figura 2.85

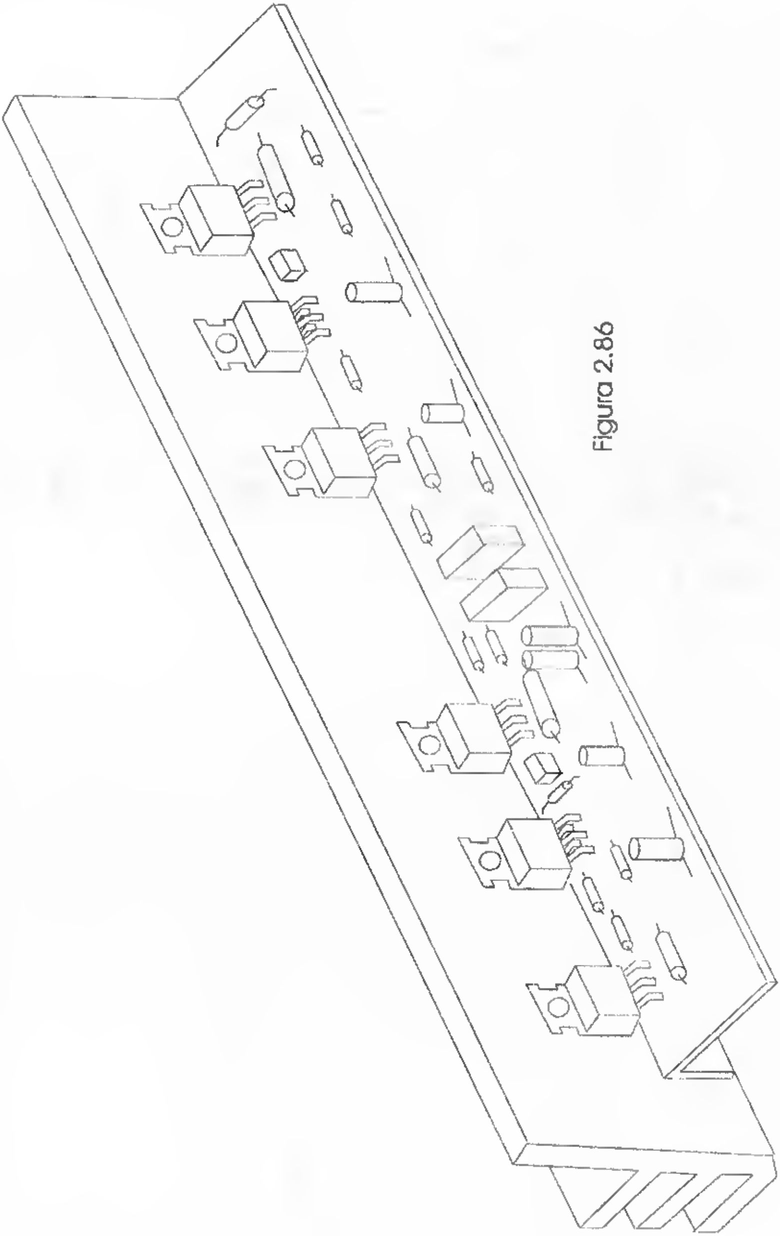


Figura 2.86

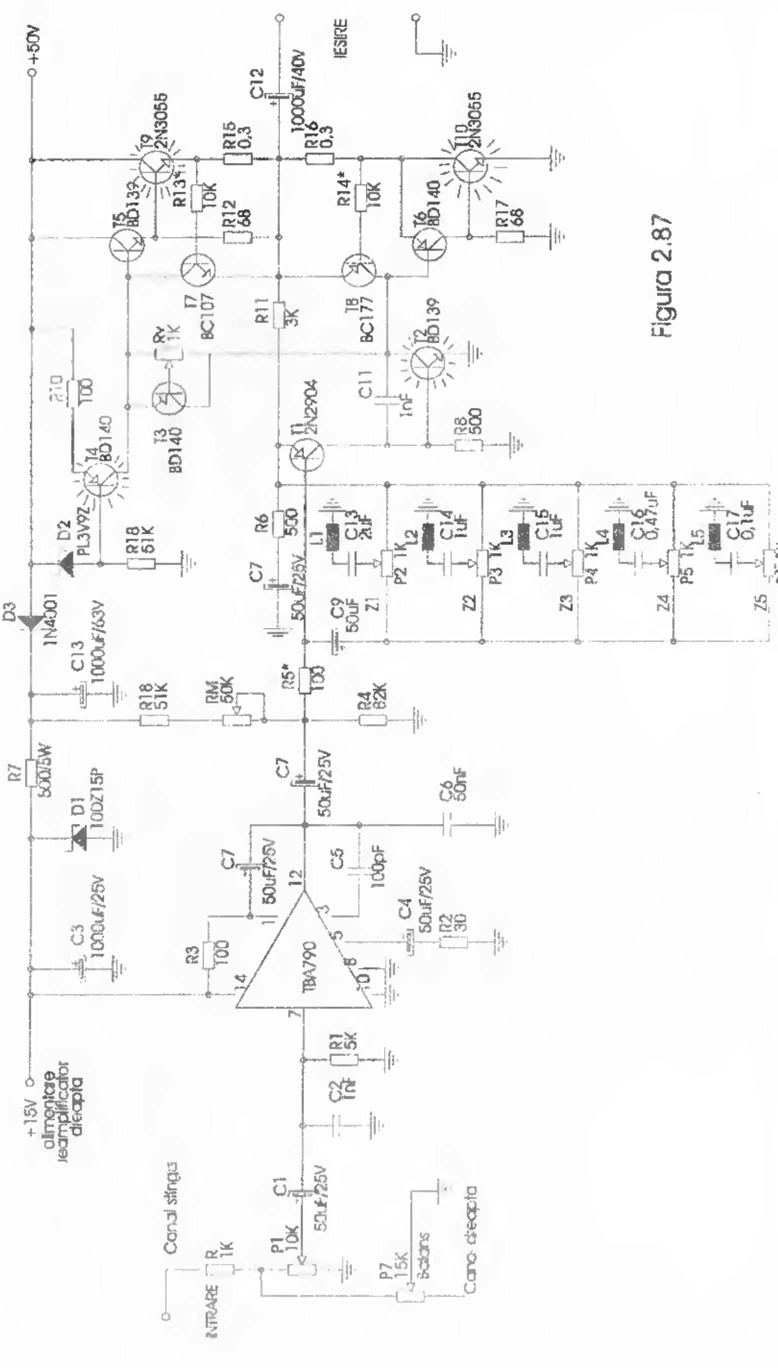

+50V
IESIRE
C12
1000uF/40V
T9
2N3055
T10
2N3055
R15
0,3
R16
0,3
T5
BD135
T6
BD140
R13
10K
R14*
10K
R12
68
R17
68
T7
BC107
T8
BC177
R11
3K
Rv
1K
R10
100
T3
BD140
T4
BD140
C11
1nF
T2
BD139
T1
2N2904
R8
500
D2
PL3V9Z
R18
51K
R6
500
C7
50uF/25V
C9
50uF
D3
1N4001
C13
1000uF/63V
RM
50K
R5*
100
R4
82K
R7
500/5W
D1
10DZ15P
C6
50nF
C5
100pF
C3
1000uF/25V
R3
100
TBA790
C4
50uF/25V
R2
30
R1
5K
C2
1nF
+15V
alimentare
preamplificator
dreapta
C1
50uF/25V
P1
10K
P7
15K
Canal stinga
Canal dreapta
INTRARE
Z1
Z2
Z3
Z4
Z5
P2 1K
P3 1K
P4 1K
P5 1K
P6 1K
C17
0,1uF
C16
0,47uF

Figura 2.87

Se observă că, în bucla de reacție negativă globală a amplificatorului, este amplasat un grup de cinci circuite LC, care definesc în final amplificarea generală pentru fiecare subbandă de frecvență în banda audio, după cum urmează:

$A = (1 + R_{11}/R_6 \,||\, \Sigma f)$, unde Σf reprezintă funcția de transfer proprie grupului de corecție, definită de poziția cursoarelor potențiometrelor P_1–P_5. Ele implică amplificarea sau atenuarea dorită într-o subbandă de frecvență, conform poziției alese de utilizatorul amplificatorului ($A = \pm 18$ dB, în punctele de corecție în banda audio precizate inițial).

Se mai observă că sarcina etajului pilot o constituie un generator de curent constant, realizat cu ajutorul tranzistorului T_4 și al componentelor electrice aferente ($D_2R_9R_{10}$). Tranzistorul T_3, împreună cu potențiometrul semireglabil R_V, reprezintă sursa de tensiune constantă, necesară polarizării în clasa AB de funcționare a etajului final. Acesta este constituit din dubleții complementari T_5T_9 (NPN Darlington) și T_6T_{10} (PNP Super-G). Protecția la suprasarcină a amplificatorului este de tipul celor cu limitare de curent, realizată cu ajutorul tranzistoarelor T_7, T_8 și al componentelor electrice aferente (prezentată detaliat la amplificatoarele descrise anterior). Pentru simplificarea realizării practice a amplificatorului, în **figura 2.88.** este prezentată o variantă de cablaj imprimat, și tot aici modul de amplasare a componentelor electrice. Dioda Zenner D_1 va fi în mod obligatoriu dotată cu un radiator de aluminiu de cca. 10 cm² (eventual un profil de aluminiu cu aripioare de răcire). Aceeași măsură de precauție în vederea îmbunătățirii disipației termice se ia și pentru tranzistoarele prefinale T_5 și T_6. Bobinele L_1–L_5 se confecționează folosind oale de ferită cu AL-ul de cca. 500–1500 nH/sp². Pentru corecția la frecvențele menționate anterior ele vor prezenta următoarea inductanță:

L_1 = 1000 mH;	L_3 = 40 mH;
L_2 = 270 mH;	L_4 = 7,5 mH,
	L_5 = 4,5 mH.

Pentru bobinaj se recomandă folosirea unui conductor de tip CuEm cu diametrul de 0,1 – 0,15 mm.

Reglajele amplificatorului constau în stabilirea unui curent de mers în gol de cca. 60 mA, acționând cursorul potențiometrului semireglabil R_V. Reglajul tensiunii în punctul median $U_M = U_A/2$ se face acționând cursorul potențiometrului semireglabil R_M. Un reglaj mult mai elegant și precis se poate face folosind un generator de audiofrecvență GAF și un osciloscop. Se aplică la intrarea montajului un semnal audio sinusoidal 1 kHz – 1000 mV. Se vizualizează la ieșirea montajului – folosind osciloscopul – semnalul de ieșire, folosind o rezistență de sarcină de 100 Ω/4 W. Mărind progresiv nivelul semnalului prin acționarea potențiometrului P_1 și acționând cursorul potențiometrului semireglabil P_M, se urmărește limitarea perfect simetrică a semnalului de ieșire amplificat. Ulterior, cu un semnal audio de 20 kHz, se reglează curentul de mers în gol astfel încât să nu existe distorsiuni de neracordare (CROSS-OVER).

A.A.F. de 60 W

Amplificatorul a cărui schemă electrică este prezentată în **figura 2.89.** deține următoarele performanțe:

P_N = 60W	Δf = 10 Hz÷200 kHz
Z_i = 10 kΩ	S/N ≥ 90 dB

$Z_e = 4\ \Omega$
$U_i = 1000$ mV
$U_A = \pm 35$ V

SR = 12 V/μs
THD ≤ 0,01% (P_N, f = 20 kHz)
TID ≤ 0,06 %.

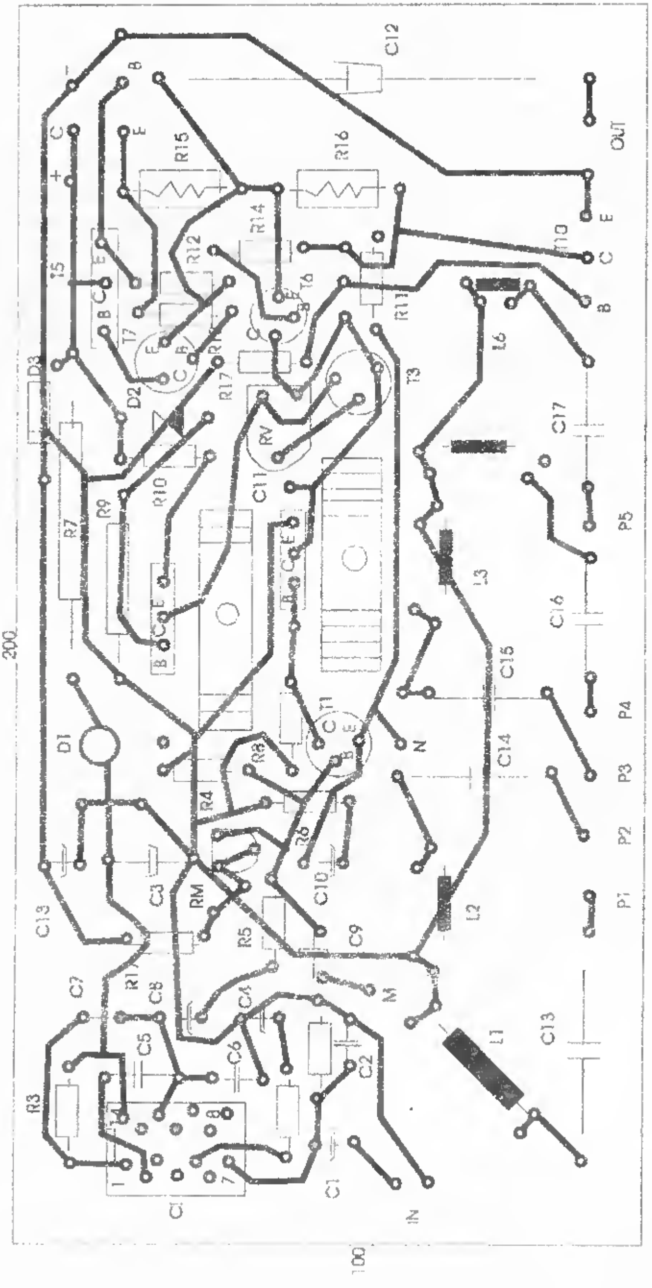


Figura 2.86

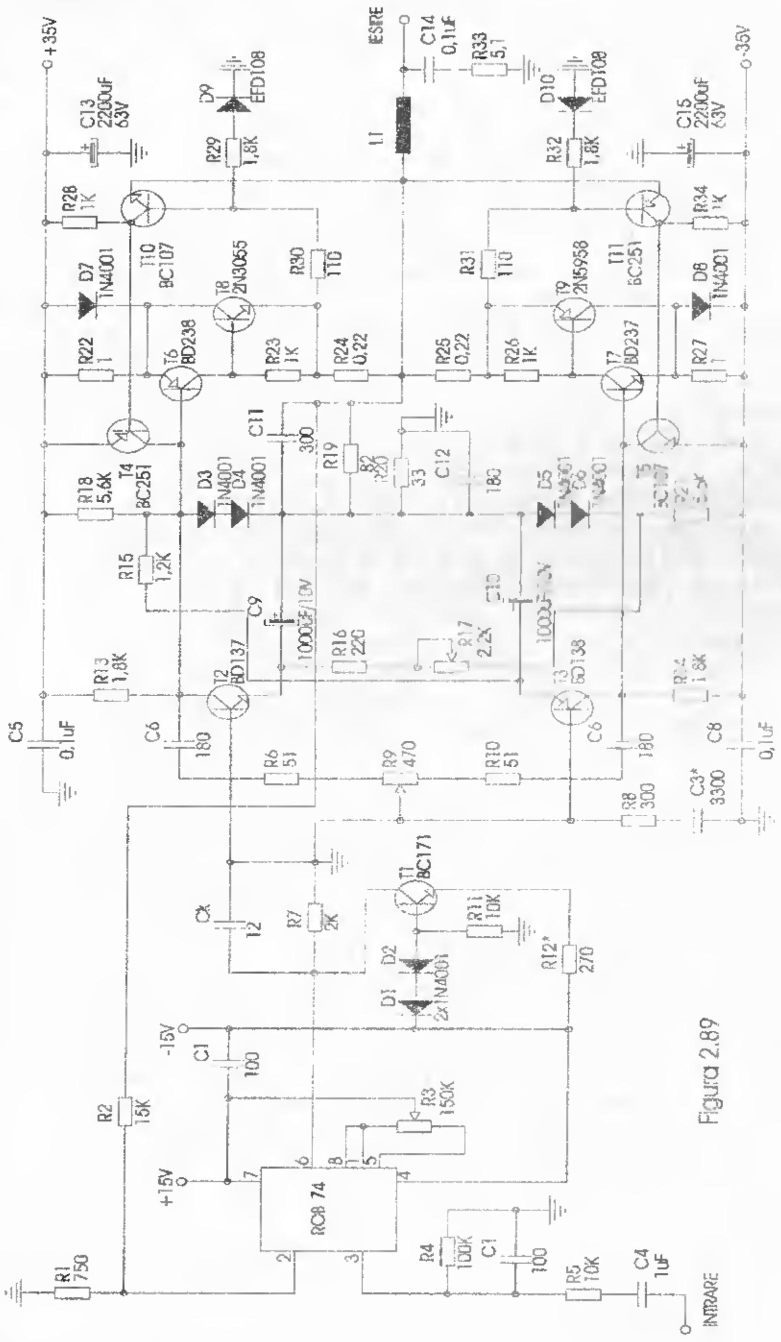

+35V
-35V
C13 2200uF 63V
C15 2200uF 63V
D9 EFD108
D10 EFD108
ESIRE
C14 0,1uF
R33 5,1
L1
R29 1,8K
R32 1,8K
R28 1K
R34 1K
T10 BC107
T11 BC251
D7 1N4001
D8 1N4001
R30 110
R31 110
T8 2N3055
T9 2N5958
R22 1
R23 1K
R24 0,22
R25 0,22
R26 1K
R27 1
T6 BD238
T7 BD237
C11 300
R19
C12 180
T4 BC251
R18 5,6K
D3 1N4001
D4 1N4001
D5
D6
T5 BC107
R15 1,2K
C9 100uF/10V
R16 220
R17 2,2K
R13 1,8K
T2 BD137
T3 BD138
C5 0,1uF
C6 180
R6 51
R9 470
R10 51
C8 0,1uF
R8 300
C3* 3300
Cx 12
R7 2K
T1 BC171
R11 10K
D2
D1 2x1N4001
R12* 270
-15V
C1 100
R2 15K
R3 150K
+15V
RC8 74
R1 750
R4 100K
R5 10K
C4 1uF
INTRARE

Figura 2.89

Odată cu mărirea puterii nominale P_N și asigurarea concomitentă a unor parametri deosebit de buni, încadrabili lejer în categoria HI–FI, complexitatea schemei electrice a amplificatorului va crește. Se observă că semnalul audio de intrare se aplică prin intermediul condensatorului C_4 la intrarea neinversoare a amplificatorului operațional CI_1. Grupul R_5C_1 reprezintă filtrul trece-jos destinat, ca de obicei, rejecției semnalelor audio ultrasonore ce s-ar putea aplica în mod accidental la intrarea amplificatorului. În vederea diminuării, cu circa un ordin de mărime, a distorsiunilor THD produse în timpul amplificării semnalului audio de către circuitul integrat CI_1, la ieșirea acestuia a fost amplasat un generator de curent constant, realizat cu ajutorul tranzistorului T_1 și al componentelor electrice aferente. Datorită acestei configurații, amplificatorul operațional CI_1 este forțat să funcționeze în clasa A, prezentând practic caracteristici de transfer liniare în întreaga bandă audio și totodată lipsa distorsiunilor (în special cele de neracordare cross-over, diminuate la minim). Semnalul audio amplificat, preluat prin intermediul rezistenței R_7, este aplicat simultan în bazele tranzistoarelor T_2 și T_3. Ele reprezintă amplificatoarele de tensiune cu rolul de etaj pilot pentru fiecare dintre cele două semialternanțe ale semnalului audio amplificat de către amplificatorul operațional CI_1. Se mai observă că, datorită grupului de diode D_1, D_2, D_3, D_4 și al divizoarelor de tensiune $R_{15}R_{18}$ și $R_{16}R_{17}R_{21}$, polarizarea tranzistoarelor T_1 și T_2 s-a ales astfel încât să determine automat funcționarea în clasa AB a dubleților complementari din etajul final.

Să analizăm mai detaliat acest lucru. Se observă că cei doi dubleți complementari ai etajului final sunt formați din grupurile de tranzistoare T_6T_8 (NPN) și T_7T_9 (PNP). Tranzistorul T_6 acționează ca amplificator de curent – tensiune, comandat de către tranzistorul T_2 – de tip NPN –, deci, în final, dubletul este de tip NPN (chiar dacă primul tranzistor T_6 care face parte din dublet este de tip PNP).

În mod similar tranzistorul T_7 acționează ca amplificator de curent-tensiune, fiind comandat de tranzistorul T_3 de tip PNP, deci, în final, dubletul acționează ca un tranzistor PNP. Dar să nu uităm că pentru intrarea în stare de conducție a tranzistoarelor T_6, T_8, T_7, T_9 este necesar ca, indiferent de regimul lor de lucru, între baza și emitorul fiecăruia să existe o tensiune de minim 0,6 V. Acest lucru este asigurat de grupul de diode D_3, D_4, D_5 și D_6, deoarece prin însăși polarizarea tranzistoarelor T_1 și T_2, în timpul regimului static de funcționare, față de punctul median – de potențial „zero V" - între bazele și emitoarele acestora va exista o tensiune de minim $2\,V_{BE} = 2 \times 0{,}6 = 1{,}2$V. Acest gen de polarizare asigură funcționarea perfect liniară în clasa AB a etajului final.

În mod practic, față de punctul median „zero V", punctul static de funcționare a amplificatorului, pentru fiecare dublet este asigurat un decalaj de 1,2 V (în valoare absolută), necesar intrării în stare de conducție și funcționării fără distorsiuni de neracordare a celor doi dubleți complementari. Dar să vedem mai detaliat cum se realizează automat potențialul „zero V", în punctul median. În timpul regimului static de funcționare, amplificatorul operațional determină inițial la ieșirea sa potențialul „zero V" datorită conectării la masă, prin intermediul rezistenței R_4, a intrării neinversoare și a buclei de reacție negativă globală, realizată de grupul R_2R_1 (rezistența R_1 conectează tot la masă intrarea inversoare a amplificatorului operațional CI_1). În bazele celor două tranzistoare T_2 și T_3 există potențialul „zero V" - preluat inițial de la ieșirea amplificatorului operațional CI_1 iar în emitoarele lor potențialele de -1,2 V pentru T_1 – preluat prin rezistențele $R_{16}R_{17}$ – și +1,2 V pentru T_2 – preluat prin rezistența R_{15}.

Aceste două potențiale determină situarea în stare de conducție a tranzistoarelor T_1 și T_2, iar în colectoarele lor, la bornele rezistențelor $R_{13}R_{14}$, vor apărea două tensiuni

suficiente pentru a determina intrarea în stare de conducție a celor doi dubleți complementari, rezultatul fiind apariția curentului de mers în gol I_0 prin tranzistoarele T_8 și T_9 ale etajului final. Să nu uităm însă că, la intrarea inversoare a amplificatorului operațional CI_1, prin intermediul rezistenței R_2, ieșirea etajului final este conectată la aceasta.

În urma acestei reacții negative foarte puternice, amplificatorul operațional CI_1, modificându-și potențialul inițial de „0V" de la ieșire, va acționa astfel încât în permanență, în regim static de funcționare, tensiunea de ieșire a montajului va fi „0V". Potențiometrul R_{17} a fost prevăzut tocmai pentru reglajul fin suplimentar, din cauza inegalității perfecte a parametrilor statici de funcționare a tranzistoarelor T_2 și T_3 (h_{21E}, I_{CB0} etc.). Desigur că au fost luate măsurile pentru sporirea stabilității în funcționare a amplificatorului.

În afara filtrului trece-jos R_5C_1, la ieșirea montajului s-a aplicat filtrul Bucherot $C_{14}R_{33}$. Condensatorul C_2 previne aplicarea unor semnale de radiofrecvență pe traseul de alimentare a amplificatorului operațional CI_1. Condensatorul CI_{11} previne amplificarea în domeniul frecvențelor ultrasonore a semnalelor preluate de cele două tranzistoare T_2 și T_3 care formează de fapt etajul pilot ($A_{T2} = R_{13}/R_{19}\ C_{11}$ și $A_{T2} = R_{14}/R_{19}\ C_{11}$). Amplificarea perfect simetrică a celor două tranzistoare T_2 și T_3 în domeniul frecvențelor înalte se poate regla datorită prezenței grupului $C_6R_6R_9R_{10}C_7$, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_9.

Protecția amplificatorului la suprasarcină ($P > 1{,}25\ P_N$) este de tipul celor cu limitare de curent. La depășirea curentului nominal al amplificatorului ($I > 1{,}25\ I_N$), căderile de tensiune apărute la bornele rezistențelor R_{24} și R_{25} vor determina intrarea în stare de conducție a tranzistoarelor T_{10} și T_{11}. Acest lucru antrenează apariția la bornele rezistențelor R_{28} și R_{34} a unor tensiuni de peste 0,6 V, care determină intrarea în stare de conducție a tranzistoarelor T_4 și T_5. Rezultatul este blocarea celor doi dubleți complementari, deci limitarea automată a curentului audio generat de etajul final. Bobina L_0–20 de spire CuEm de diametru 1,2 mm, bobinată în două straturi pe un dorn de 8 mm, previne, de asemenea, posibilitatea de apariție a unor oscilații nedorite ale amplificatorului (să nu uităm că difuzoarele din incinta acustică reprezintă o sarcină rezistiv-inductivă). Tot pentru protecția rapidă a amplificatorului la suprasarcină determinată de tensiuni inductive au fost prevăzute grupurile $R_{29}D_9$ și $R_{32}D_{10}$. Amplificarea generală a montajului este reglementată de o buclă de reacție negativă globală ce conține elementele R_1, R_2 ($A = 1 + R_2/R_1$).

Desigur că realizarea practică a acestui amplificator nu este simplă. În vederea ușurării construcției montajului, în **figura 2.90** a fost prezentată o variantă de cablaj imprimat (varianta stereo) care a dat rezultate practice foarte bune. Amplasarea componentelor electrice pe plăcuța de cablaj este prezentată în **figura 2.91**. Se menționează că, în mod obligatoriu, tranzistoarele T_2 și T_3, T_6 și T_7, T_8 și T_9, T_{10} și T_{11} vor avea același factor de amplificare în curent h_{21E}.

Tranzistoarele prefinale T_6 și T_7 vor fi prevăzute cu radiatoare de tip U din aluminiu gros de 1,5–2 mm, cu o suprafață de minim 8 cm^2. Tranzistoarele T_8 și T_9 se amplasează pe un radiator comun din profil aluminiu, capabil de a disipa o putere de minim 25 W. Sursa de alimentare cu energie electrică se alege astfel încât puterea sursei $P_S \geq 1{,}6\ P_N$.

Pentru filtrajul tensiunii de alimentare a montajului se folosesc condensatoare electrolitice de minim 4700 μF (pe fiecare ramură a tensiunii U_A). Reglajele amplificatorului constau în asigurarea potențialului „0V" la ieșire, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_3 (compensarea, de fapt, a tensiunii de decalaj proprie amplificatorului operațional CI_1.

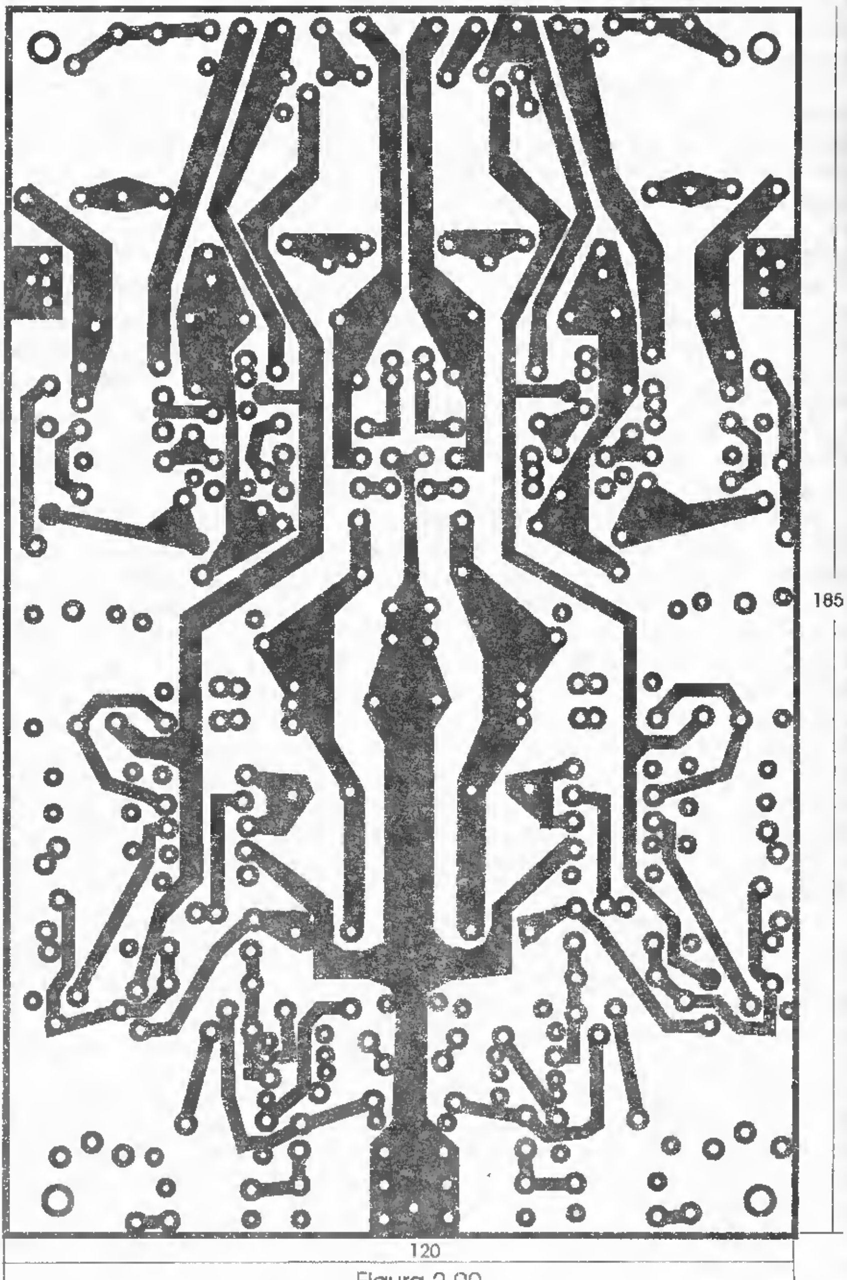


Figura 2.90

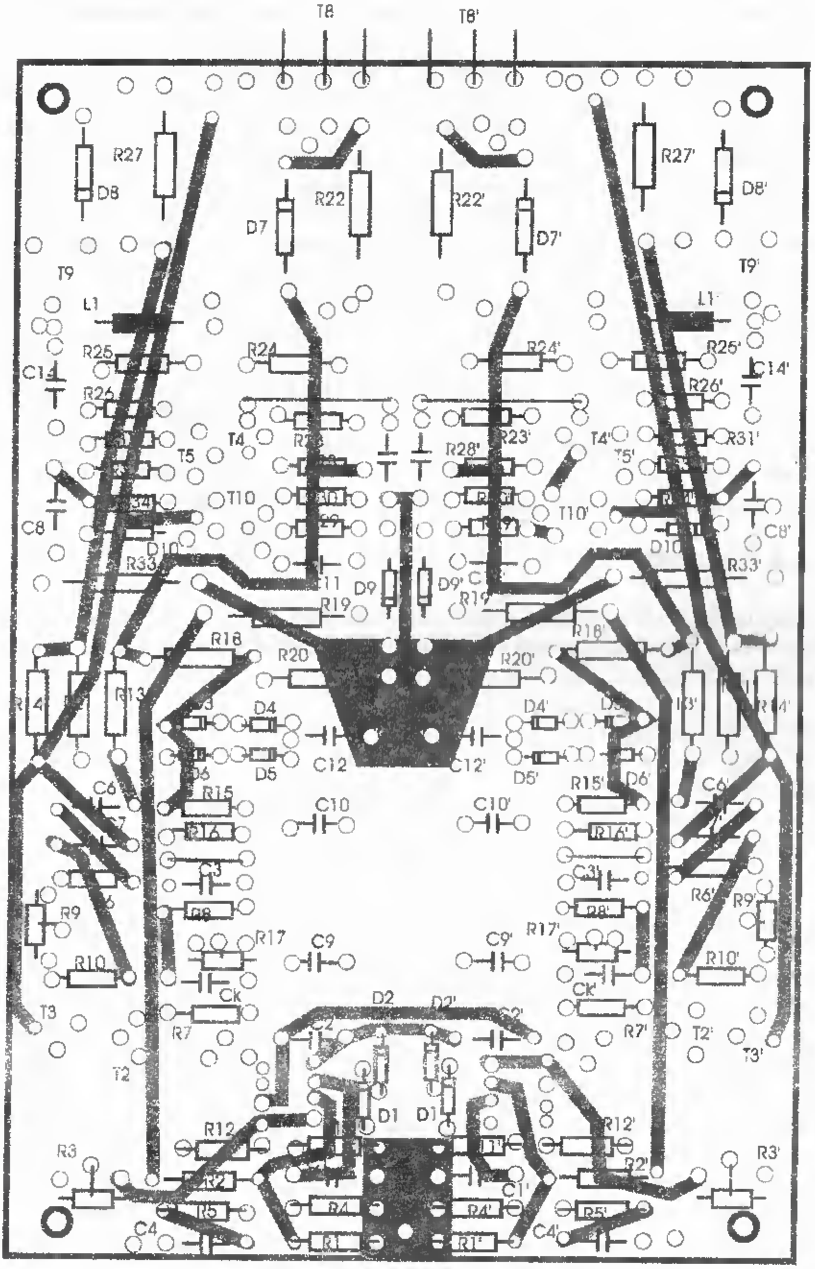

T8
T8'
R27
D8
R22
R22'
R27'
D8'
D7
D7'
T9
T9'
L1
L1'
R25
R24
R24'
R25'
C14
C14'
R26
R26'
T4
T4'
T5
T5'
R31'
R28'
R23'
T10
T10'
C8
C8'
D10
D10'
R33
R33'
D9
D9'
R19
R19'
R18
R18'
R20
R20'
R13
D4
D4'
C12
C12'
D5
D5'
D6
D6'
C6
C6'
R15
R15'
C10
C10'
R16
R16'
C3
C3'
R8
R8'
R6'
R9
R9'
R17
R17'
C9
C9'
R10
R10'
Ck
Ck'
T3
T3'
D2
D2'
R7
R7'
T2
T2'
D1
D1'
R12
R12'
R3
R3'
R2
R2'
C1'
R5
R5'
R4
R4'
C4
C4'
R1
R1'

Figura 2.91

Urmează un reglaj fin al curentului de mers în gol I_0 = 60–80 mA, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_{17}, după care se verifică potențialul „0V" de la ieșirea montajului și, dacă este necesar, se reajustează acționând fin cursorul potențiometrului semireglabil R_3. După aceste reglaje statice (evident cu intrarea amplificatorului pusă la masă), se trece la reglajul dinamic. Se aplică la intrarea amplificatorului un semnal sinusoidal 15 kHz–500 mV, la ieșirea lui fiind conectată inițial o rezistență de sarcină 100 Ω/10 W. Cu ajutorul unui osciloscop se vizualizează forma de undă a semnalului electric de pe sarcină – tensiunea alternativă. Acționând cursorul potențiometrului semireglabil R_9, se urmărește ca cele două semialternanțe ale tensiunii să fie perfect egale ca amplitudine. Măsurătoarea se reia pentru frecvențele de 18 kHz și 22 kHz, și, dacă este necesar, se fac mici ajustări de finețe ale poziției cursorului potențiometrului semireglabil R_9. După aceste reglaje se aplică la ieșirea amplificatorului o rezistență de sarcină 10 Ω/40 W, iar la intrarea sa se injectează un semnal electric sinusoidal 20 kHz – 900 mV.

În cazul în care apar mici distorsiuni de racordare (vizibile cu ajutorul osciloscopului conectat la bornele rezistenței de sarcină), se mărește puțin valoarea curentului de mers în gol I_0, prin acționarea fină a cursorului potențiometrului semireglabil R_{17}. După toate aceste reglaje, se mai verifică o ultimă dată potențialul „0V" de la ieșirea montajului. Amplificatorul se situează în clasa HI–FI, oferind rezultate practice excelente pentru cei mai pretențioși utilizatori.

A.A.F. de 70 W

Deși realizat într-o manieră clasică, amplificatorul a cărui schemă electrică este prezentată în **figura 2.92.** oferă rezultate practice deosebit de bune. Performanțele lui sunt următoarele:

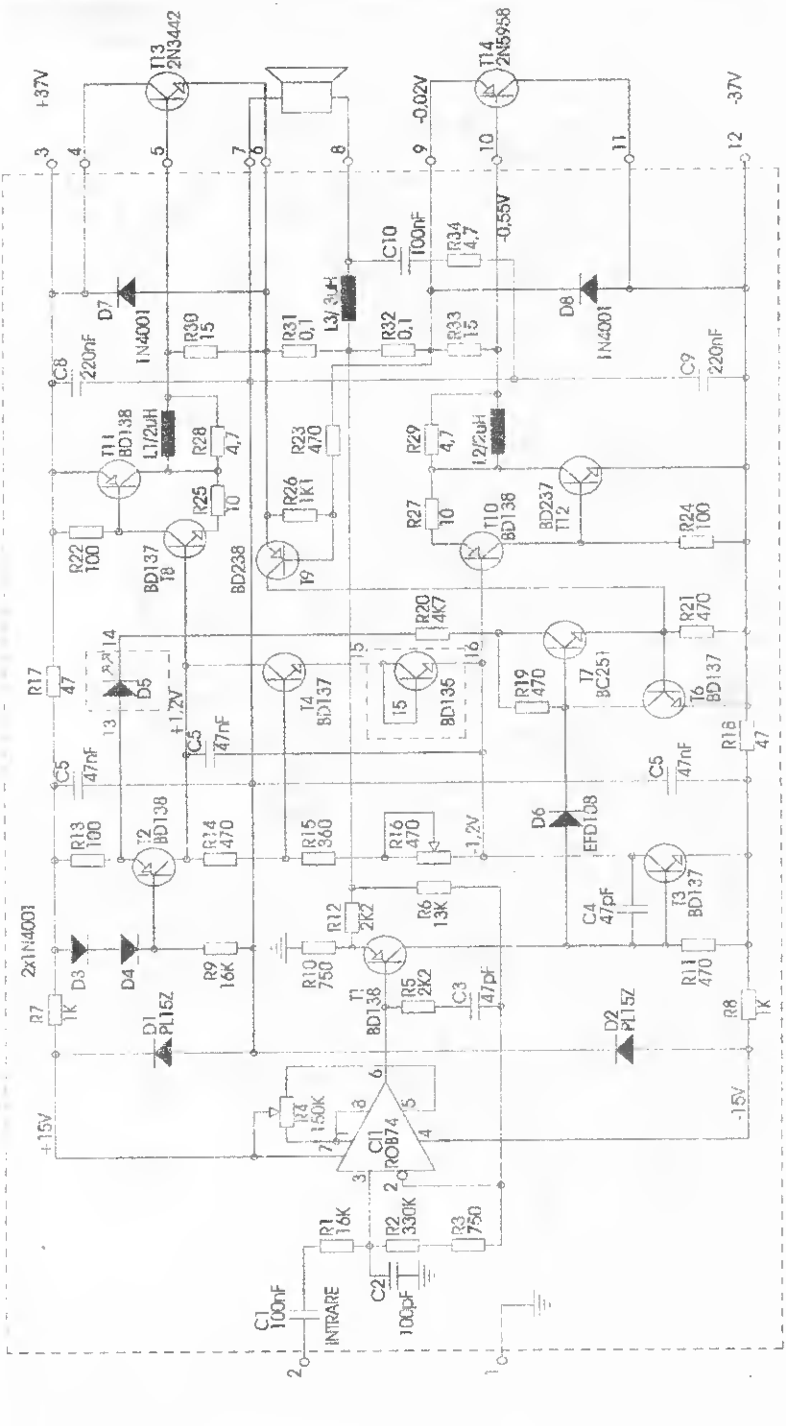
P_N = 70 W(40 W)	
Z_i = 300 kΩ	S/N ≥ 95 dB
Z_e = 4 Ω (8 Ω)	SR = 15 V/μs
U_i = 1000 mV	THD ≤ 0,01% (P_N, f = 20 kHz)
U_A = ± 37 V	TID ≤ 0,006 %.

Δf = 20 Hz – 22 kHz (A = ± 0,25 dB)
Δf = 7 Hz – 100 kHz (A = – 3dB).

Semnalul audio se aplică la intrarea montajului prin intermediul condensatorului C_1. Urmează filtrul trece-jos $R_1C_2R_2$ care elimină semnalele ultrasonore, după care semnalul audio se aplică circuitului integrat CI_1 la intrarea neinversoare. El îndeplinește funcțiile etajului de intrare și etajului amplificator intermediar de tensiune. Semnalul audio amplificat preluat de la ieșirea amplificatorului operațional CI_1 se aplică galvanic în baza tranzistorului T_1, care îndeplinește rolul de etaj tampon între amplificatorul operațional și restul montajului. Totodată, tranzistorul T_1 mai îndeplinește și rolul de etaj „schimbător de nivel", stabilind regimul optim de polarizare al tranzistorului T_3 și totodată asigurând excursia optimă în tensiune a semnalului audio amplificat.

Din colectorul tranzistorului T_1 semnalul audio se aplică galvanic în baza tranzistorului T_3, care deține funcția etajului pilot.

Sarcina lui este constituită din generatorul de curent constant realizat cu ajutorul tranzistorului T_2 (și al componentelor $D_3D_4R_{13}R_9$), soluție optimă ale cărei avantaje s-au menționat deja.



+37V
-37V
T13 2N3442
T14 2N5958
-0,02V
-0,55V
C10 100nF
R34 4,7
L3/ 3uH
D7 1N4001
D8 1N4001
C8 220nF
C9 220nF
R30 15
R31 0,1
R32 0,1
R33 15
T11 BD138
L1/2uH
R28 4,7
R23 470
R29 4,7
L2/2uH
R25 10
R26 1K1
R27 10
T10 BD138
BD237 T12
R22 100
BD137 T8
BD238
T9
R24 100
R20 4K7
R21 470
R17 47
D5
+1,2V
T4 BD137
BD135
T7 BC251
R19 470
T6 BD137
C5 47nF
R18 47
R13 100
T2 BD138
R14 470
R15 360
R16 470
-1,2V
D6 EFD108
2x1N4001
D3
D4
R9 16K
R10 750
R12 2K2
R6 13K
C4 47pF
T3 BD137
R7 1K
R11 470
R8 1K
T1 BD138
R5 2K2
C3 47pF
D1 PL15Z
D2 PL15Z
+15V
-15V
R4 150K
CI1 ROB74
R1 16K
R2 330K
R3 750
C1 100nF
C2 100pF
INTRARE

Figura 2.92

Tranzistoarele T_4 și T_5, împreună cu elementele $R_{14}R_{15}R_{16}C_7$, formează sursa de tensiune constantă necesară polarizării, în clasa AB de funcționare, a etajului final. El este alcătuit din doi tripleți complementari, și anume $T_8T_{11}T_{13}$ – tripletul NPN și $T_{10}T_{12}T_{14}$ – tripletul PNP. Cei doi tripleți simetrici dețin, pe lângă tranzistoarele menționate anterior, și o serie de rezistențe de polarizare care determină funcționarea optimă. În același scop au fost prevăzute bobinele L_1 și L_2, iar din emitoarele tranzistoarelor finale T_{13} și T_{14} nu lipsesc rezistențele R_{31} și R32 – reacții negative locale de curent, ce implică toate avantajele precizate în capitolul 1. Desigur că la ieșirea montajului nu putea lipsi filtrul Bucherot $C_{10}R_{34}$, iar amplasarea bobinei L_3 contribuie și ea la mărirea stabilității în funcționare a amplificatorului. Datele bobinelor sunt următoarele:

– L_1 și L_2 – se bobinează 32 de spire cu conductor CuEm, de diametru 0,2 mm, direct pe rezistențele R_{28} și R_{29};

– L_3 – se bobinează 33 de spire din conductor CuEm de diametru 1 mm, pe un dorn de 18 mm, în trei straturi.

Protecția electronică a montajului, de tipul celor denumită convențional „turn-out", este foarte eficientă. Datorită faptului că ea se poate monta separat la un alt amplificator deja existent, va fi prezentată amănunțit. Elementele ei principale includ tranzistoarele T_9, T_6, T_7 și diodele D_5 și D_6.

La apariția regimului de suprasarcină ($P > 1{,}25\ P_N$), căderea de tensiune de la bornele rezistențelor R_{31} și R_{32} determină intrarea în stare de conducție a tranzistorului T_9. Acest lucru determină apariția la bornele rezistenței R_{21} a unei tensiuni mai mari de 0,6 V, deci automat intrarea în stare de conducție a dubletului de tranzistoare T_6T_7. Acest fapt are un dublu efect. În primul rând, prin intermediul diodei D_6 și al tranzistorului T_6 (rezistența colector-emitor a devenit minimă), semnalul audio din colectorul tranzistorului T_1 este dus la masa montajului, deci orice amplificare ulterioară este imposibilă. În al doilea rând, curentul livrat de rezistența R_{13} generatorului de curent constant (care conține tranzistorul T_2) este derivat pe traseul R_{13}–D_5 (de tip LED, deci se iluminează) – R_{20}–T_7–R_{21}.

Acest fapt implică blocarea generatorului de curent constant, blocarea celor doi tripleți complementari și, ca urmare, limitarea la zero a curentului de ieșire al amplificatorului. Se mai menționează că amplificatorul rămâne în această stare până la întreruperea alimentării sale cu energie electrică.

Pentru a evita acționarea foarte rapidă a protecției electronice la un regim tranzitoriu de lucru sau depășire foarte scurtă de sarcină nominală, în paralel cu rezistența R_{21} se poate amplasa un condensator de cca. 1–10 nF (care nu a fost prezentat pe schema electrică a montajului). În vederea realizării practice a amplificatorului, în **figura 2.93.** este prezentată o variantă de cablaj imprimat, iar în **figura 2.94.** modul de amplasare a componentelor electrice.

Reglajele amplificatorului constau în stabilirea potențialului „0V" în punctul median (ieșire) prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_4. Urmează stabilirea valorii curentului de mers în gol $I_0 = 65$ mA, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_{16}.

Verificarea dinamică a amplificatorului se face la fel ca la cel prezentat anterior.

A.A.F. de 80 W

Amplificatorul a cărui schemă electrică este prezentată în **figura 2.95.** deține următoarele performanțe:

$P_N = 80$W Δf = 15 Hz÷25 kHz (A = –0,2 dB)
$Z_i = 120$ kΩ S/N ≥ 95 dB

$Z_e = 4\ \Omega$
$U_i = 1000$ mV
$U_A = \pm 38$ V
SR = 12 V/µs
THD ≤ 0,006% (P_N, f = 20 kHz)
TID ≤ 0,002 %.

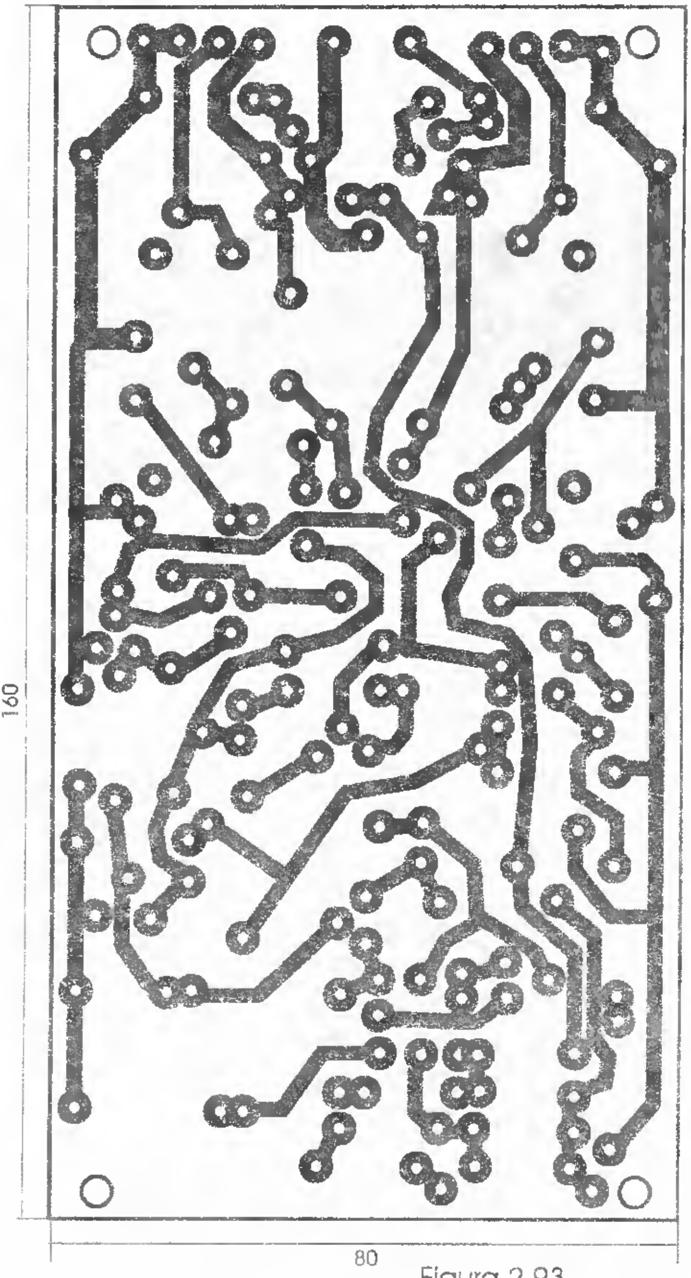


Figura 2.93

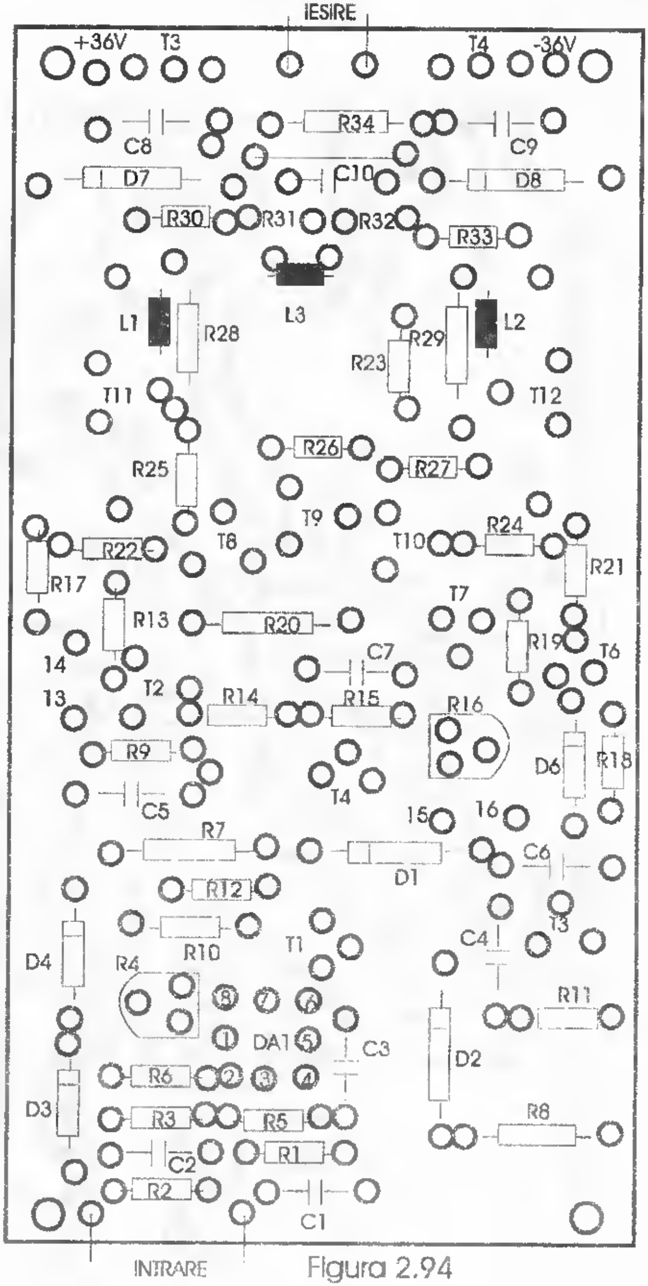

IESIRE
+36V
T3
T4
-36V
C8
R34
C9
D7
C10
D8
R30
R31
R32
R33
L1
R28
L3
R29
L2
R23
T11
T12
R26
R25
R27
T9
R24
R22
T8
T10
R21
R17
T7
R13
R20
R19
T6
14
C7
T2
R14
R15
R16
13
R9
D6
R18
C5
T4
15
16
R7
C6
D1
R12
T3
R10
C4
T1
D4
R4
R11
DA1
C3
R6
D2
D3
R3
R5
R8
C2
R1
R2
C1
INTRARE

Figura 2.94

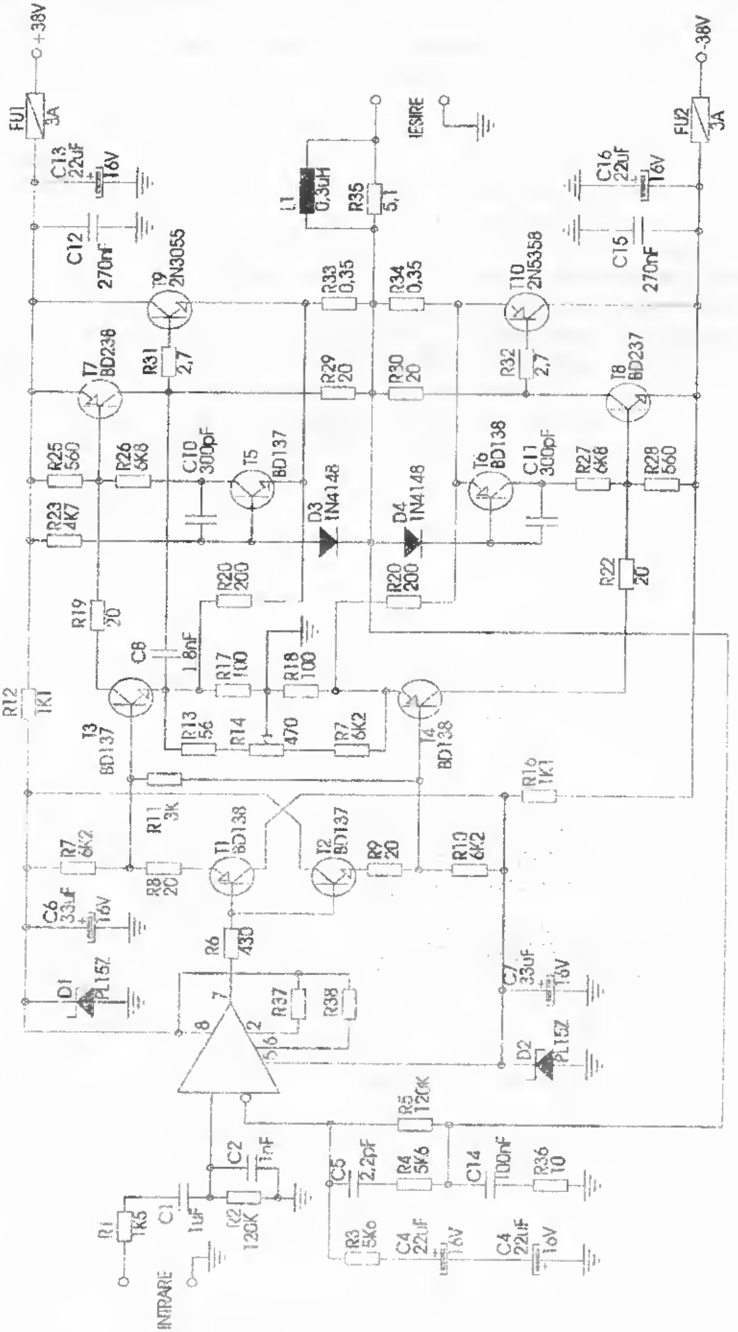

+38V
FU1 3A
C13 22uF 16V
C12 270nF
T9 2N3055
R31 2,7
T7 BD238
R25 560
R26 6K8
C10 300pF
T5 BD137
R23 4K7
R19 20
C8 1,8nF
R20 200
R17 100
R18 100
R12 1K1
T3 BD137
R13 56
R14 470
R7 6K2
T4 BD138
R11 3K
R7 6K2
R8 20
T1 BD138
T2 BD137
R9 20
R10 6K2
R16 1K1
C6 33uF 16V
D1 PL15Z
R6 430
R37
R38
C7 33uF 16V
D2 PL15Z
R5 120K
C2 1nF
C1 1uF
R1 1K5
R2 120K
INTRARE
C5 2,2pF
R4 5K6
C14 100nF
R36 10
R3 5K6
C4 22uF 16V
C4 22uF 16V
L1 0,3uH
R35 5,1
IESIRE
R33 0,35
R34 0,35
R29 20
R30 20
D3 1N4148
D4 1N4148
R20 200
T6 BD138
C11 300pF
R27 6K8
R28 560
R22 20
T8 BD237
R32 2,7
T10 2N5358
C15 270nF
C16 22uF 16V
FU2 3A
-38V

Figura 2.95

Se observă că și de această dată rolul etajelor de intrare și amplificator de tensiune revine amplificatorului operațional CI_1. Semnalul audio aplicat la intrarea sa neinversoare este controlat de filtrul trece-jos $R_1C_1C_2R_2$, al cărui rol a fost bine definit până acum. De la ieșirea amplificatorului operațional CI_1, semnalul audio amplificat se aplică simultan, prin intermediul rezistenței R6, în bazele tranzistoarelor T_1 și T_2. Ele alcătuiesc etaje tampon de tip repetor pe emitor, separând ieșirea amplificatorului operațional CI_1 de intrările – respectiv bazele – tranzistoarelor T_3 și T_4. Acestea alcătuiesc etajul pilot al amplificatorului, asigurând excursia maximă în tensiune a fiecăreia dintre cele două semialternanțe ale semnalului audio amplificat. Urmează cei doi dubleți complementari T_7T_9 și T_8T_{10}, care alcătuiesc etajul final și a căror funcționare a fost descrisă amănunțit la amplificatoarele prezentate anterior.

Amplificarea generală a montajului este reglementată de o buclă de reacție negativă globală care conține elementele $R_5R_4C_5R_3C_4C_3$ ($A = 1 + R_5/R_3$). Stabilitatea amplificatorului este reglementată de filtrul Burcherot $R_{36}C_{44}$ și grupul R_4C_5, care limitează amplificarea semnalelor audio de frecvență ultrasonoră. Tranzistoarele T_6 și T_0 asigură polarizarea în clasa AB de funcționare a etajului final, îndeplinind totodată și rolul de protecție electronică la depășiri accidentale de suprasarcină (limitare de curent). Reglajele amplificatorului constau în stabilirea tensiunii de „0V" din punctul median, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_{14}. Conform configurației schemei electrice a montajului, curentul de mers în gol I_0 = 150–180 mA se stabilește automat (fără a mai fi necesar reglajul acestuia).

A.A.F. de 100 W

O alcătuire asemănătoare cu cea prezentată în exemplele anterioare o deține și amplificatorul a cărui schemă electrică este dată în **figura 2.96**. El deține următoarele performanțe:

P_N = 100 W	Δf = 20 Hz-22 kHz (A = 0,05 dB)
Z_i = 120 kΩ	S/N ≥ 100 dB
Z_e = 4 Ω	SR = 15 V/µs
U_i = 1000 mV	THD ≤ 0,015% (P_N = 60W, 15 kHz)
U_A = ± 37 V	TID ≤ 0,01 %.

Etajul de intrare, dotat cu toate precauțiile și etajele tampon, este similar cu cel al amplificatoarelor prezentate până acum. Cele două semialternanțe ale semnalului audio amplificat sunt amplificate în continuare de tranzistoarele T_1 și T_2, și apoi transmise galvanic dubleților complementari T_3T_5 și T_4T_6, care realizează amplificarea în putere (deci, tensiune și curent). Protecția electronică a amplificatorului, de tipul celor cu limitare de curent, este asigurată de grupurile T_7T_9 și T_8T_{10}, fiind descrisă amănunțit la amplificatoarele prezentate anterior.

Reglajele amplificatorului constau în asigurarea potențialului de ieșire „0V" prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R6, și stabilirea valorii curentului de mers în gol I_0 = 150 mA, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil R_{15}.

A.A.F. de 200 W

Obținerea unei puteri mari de ieșire în regim de funcționare a amplificatorului în clasa AB nu este un lucru simplu. Să nu uităm că, în cel mai bun caz, randamentul maxim al acestei clase de funcționare poate atinge – cu o proiectare îngrijită –

valoarea de η = 0,65%. Concomitent, oricât de elaborat ar fi montajul, tranzistoarele bipolare au niște limite în ceea ce privește slew-rate-ul. Acest lucru înseamnă că, dacă am realizat un amplificator de putere mare (ex. 100 W) și, grefat pe aceeași schemă electrică, vrem să-i mărim puterea crescând tensiunea de alimentare a montajului, rezultatele obținute vor lăsa de dorit.

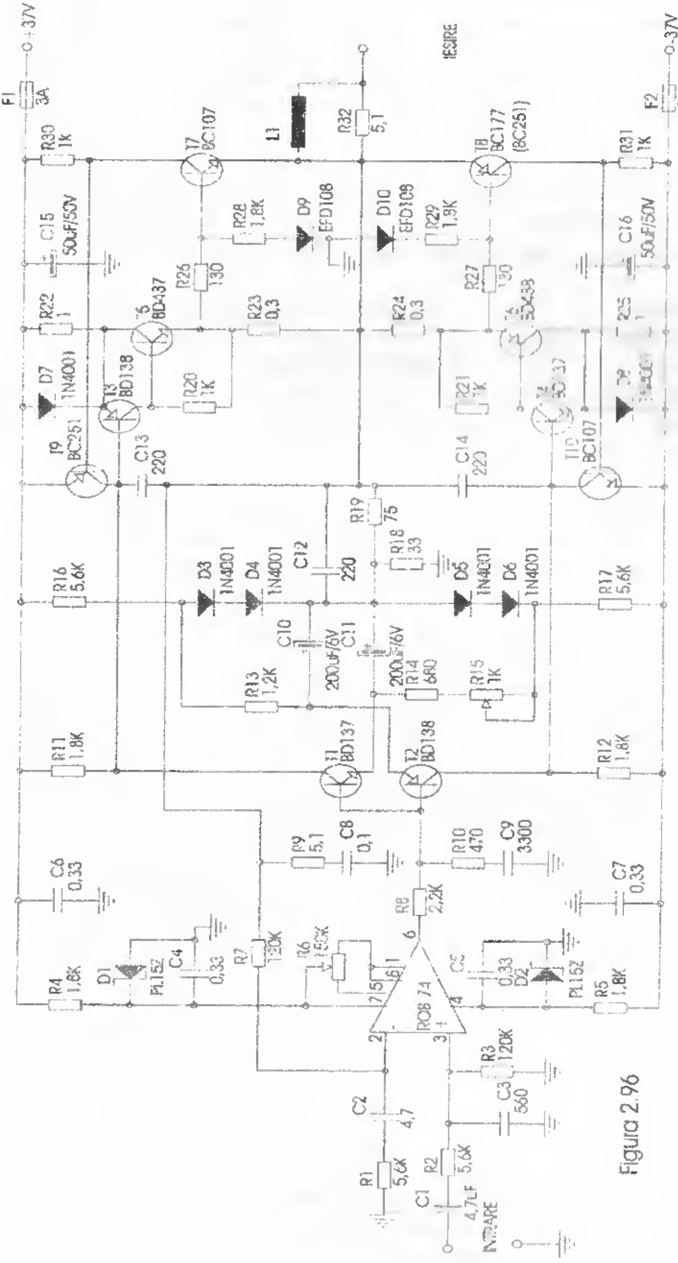


figura 2.96

Viteza recombinării purtătorilor de sarcină nu poate fi oricât de mare, de aceea tranzistoarele de putere bipolare, chiar dacă au ca dată de catalog o frecvență „de tăiere" ridicată cu mult peste frecvența limită audio (20 kHz), nu răspund corect la regimurile tranzitorii de lucru ale unui amplificator folosit de obicei la puterea nominală.

Un amplificator audio de putere foarte mare (peste 100 W) trebuie să fie „rapid" datorită, în primul rând, concepției schemei electrice, și în al doilea rând datorită performanțelor componentelor electrice. Din fericire, există o soluție tehnică a problemei. Ea este concretizată de apariția în producția de serie a tranzistoarelor cu efect de câmp de putere, care se comportă foarte bine în privința parametrului slew-rate.

În acest sens, se prezintă o variantă de amplificator de mare putere, care a dat rezultate excelente și care poate oricând confirma performanțele HI–FI pentru puteri cu mult superioare celei nominale (200 W). Performanțele amplificatorului a cărui schemă electrică este prezentată în **figura 2.97.** sunt următoarele:

P_N = 200W	Δf = 3 Hz÷200 kHz (A = –3dB)
Z_i = 120 kΩ	Δf = 18 Hz÷25 kHz (A = –0,5 dB)
Z_e = 4 Ω	SR = 60 V/μs
U_i = 750 mV	S/N ≥ 100 dB
U_A = ± 60 V	THD ≤ 0,02 %
	TID ≤ 0,006%

Configurația etajului de intrare este clasică (după cum s-a văzut în descrierile anterioare). Se observă că circuitul integrat CI_1 face parte din categoria celor mai rapide, asigurând o viteză de creștere spectaculoasă a tensiunii slew-rate – 60 V/μs. Dar numai cu acest lucru nu se poate rezolva problema. Se observă că semnalul audio amplificat, preluat de la ieșirea amplificatorului operațional CI_1 „atacă" un amplificator diferențial cu tranzistoare, de tip punte. Toate tranzistoarele din componența acestuia sunt de tipul celor rapide, destinate a lucra în regim de înaltă frecvență, deci în regim de joasă frecvență audio „merg" cu atât mai bine. Se utilizează amplificarea separată a fiecărei semialternanțe proprii semnalului audio, de către grupurile de tranzistoare T_3T_7 (primul amplificator diferențial pentru semialternanța pozitivă) și T_4T_8 (al doilea amplificator diferențial pentru semialternanța negativă). Tranzistoarele T_5 și T_7 intră în alcătuirea unor generatoare de curent constant, amplasate în emitoarele proprii celor două amplificatoare diferențiale, configurație a cărei utilitate a fost menționată până acum. Amplificarea ulterioară în tensiune este realizată de către tranzistoarele T_9 și T_{10}, amplasate într-un montaj de tip conexiune cu bază comună. Această configurație permite o excelentă adaptare de impedanțe între amplificatoarele diferențiale și etajul final. Acesta include tranzistoarele T_{11} și T_{12}, cu rolul de etaje tampon, coborâtoare de impedanță, și tranzistoarele T_{13} și T_{15}, T_{14} și T_{16}, montate în paralel, care reprezintă echivalențele NPN și PNP ale etajului final. Amplificarea în tensiune a montajului se definește conform relației:

$$A = (1 + R_8/R_7)\times(1 + R_{21}/R_{17})$$

Protecția tranzistoarelor finale de tip FET este asigurată de grupurile D_3D_5 și D_4D_6, care limitează excursia maximă în tensiune a celor două semialternanțe proprii semnalului audio amplificat la circa 12,6 V. Reacția negativă locală de curent este prezentă pentru fiecare din cele patru tranzistoare de tip FET – rezistențele R_{34}, $R_{[illegible]}$, $R_{[illegible]}$ și $R_{[illegible]}$. În rest, amplificatorul prezintă elemente caracteristice similare cu

cele prezentate până acum. Reglajele montajului constau în asigurarea la ieșirea acestuia a potențialului „0V" prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil RP_1 și stabilirea unui curent de mers în gol I_0 = 150 mA, prin acționarea cursorului potențiometrului semireglabil RP_2.

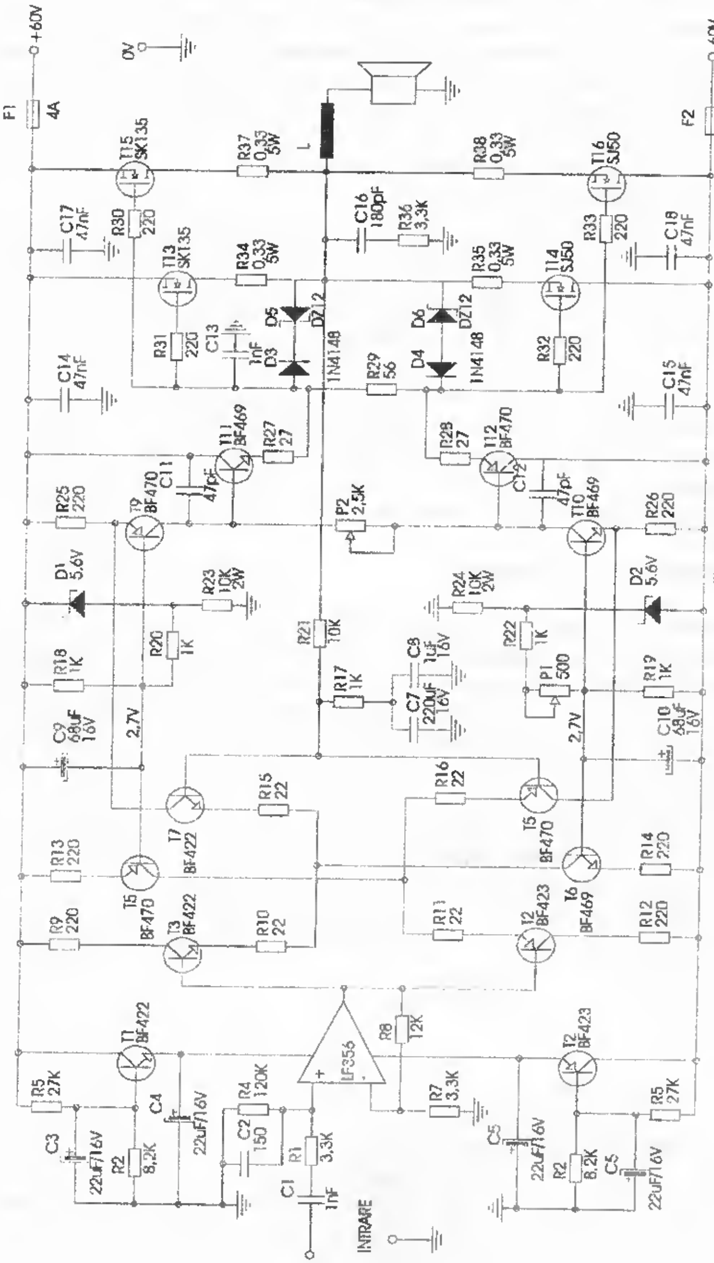


Figura 2.97

2.4. AMPLIFICATOARE AUDIO CU CIRCUITE INTEGRATE

Amplificatoarele de audiofrecvență de putere cele mai răspândite în ziua de azi sunt, fără îndoială, cele realizate cu ajutorul circuitelor integrate specializate. Ele prezintă foarte multe avantaje, dar și unele dezavantaje (în special în ceea ce privește calitatea sunetului redat, în comparație cu amplificatoarele audio realizate cu tuburi electronice cu vid).

Principalele avantaje ale amplificatoarelor audio realizate cu C.I. specializate sunt:

– deosebita simplitate în execuție (număr mic de componente externe necesare);

– o bună reproductibilitate a parametrilor;

– consum redus de energie electrică (randament energetic foarte bun);

– gabarit și greutate foarte reduse;

– preț de cost scăzut.

Avantajele evidente enumerate aici au făcut ca aceste tipuri de A.A.F. realizate cu C.I. să fie foarte răspândite în aparatura electronică, în special în aceea destinată amatorilor.

În acest ultim capitol al lucrării vom aborda cu predilecție A.A.F. realizate cu C.I. monolitice, dar vom prezenta și câteva amplificatoare realizate cu C.I. în tehnologia hibridă (de tip STK).

Criteriul după care au fost ordonate montajele practice prezentate nu mai este dat de puterea de ieșire a amplificatorului, ci de tipul circuitului integrat folosit în schemă.

Nu s-au omis în această trecere în revistă a A.A.F. realizate cu C.I. nici echipamentele ce folosesc integrate de producție indigenă (I.P.R.S. Băneasa: TBA 790, TCA 150, respectiv I.C.C.E. Băneasa: ROB 151).

A.A.F. cu C.I. de tip ROB151

Circuitul integrat ROB151, produs de ICCE– Băneasa este un circuit integrat liniar, care îndeplinește sarcina de amplificator de joasă frecvență (audiofrecvență).

În scopul măririi flexibilității în aplicații, o parte dintre elementele interne sunt accesibile individual prin conectarea lor la terminalele externe. Acest lucru este vizibil în **figura 2.98**, în care sunt prezentate capsula (T0–116) și structura circuitului integrat R0B151, precum și semnificația pinilor. Acest C.I. poate fi folosit în diverse configurații de circuit.

Principalele caracteristici electrice ale acestui C.I. sunt următoarele:

– tensiunea de alimentare maximă V_{Smax} = 8 V;

– tensiunea de alimentare minimă V_{Smin} = 3 V;

– curentul static maxim al tranzistorului T_3 I_{CT3max} = 25 mA;

– factorul de amplificare în curent β al lui T_1, la curentul de 1 mA: minim 30, tipic 80, maxim 200–250;

– curentul maxim (incidental) de bază al lui T_1, I_{BT1max} = 10 mA;

– amplificare de tensiune (fără reacție), $A_{Utot} \geq 70$ dB;

– banda de frecvență (fără reacție): 600 kHz.

Cu ajutorul C.I. de tip R0B151 se poate realiza un amplificator de audio frecvență, ca în **figura 2.99.**, dacă i se atașează un etaj final în contratimp, în clasa AB sau B, realizat cu tranzistoare discrete.

Deoarece tensiunea maximă de alimentare a C.I. nu poate depăși 8V, se recomandă utilizarea în etajul final a unor tranzistoare cu Ge (având tensiunea U_{BE} în repaus redusă ca valoare). S-a folosit, în acest caz, perechea de tranzistoare AC180 (K), de tip PNP și AC181 (K) de tip NPN.

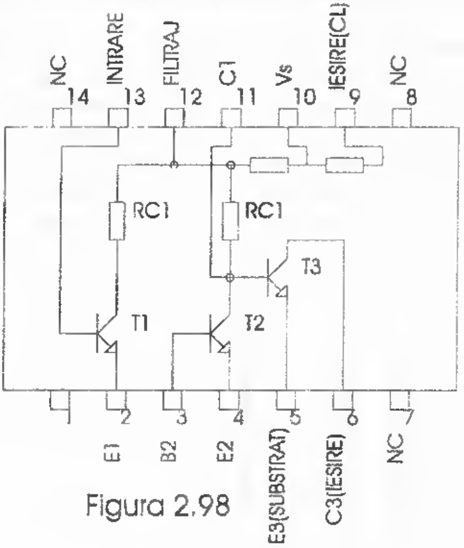


Figura 2.98

Montajul prezentat poate fi alimentat cu o tensiune minimă de 3 V (de la baterii). Se poate obține pe o sarcină de 4 Ω o putere maximă de 1,2 W, cu distorsiuni relativ reduse (câteva procente). Puterea disipată medie pe tranzistoarele finale este de cca. 0,4 W, astfel încât, dacă temperatura ambiantă nu depășește 30°C, tranzistoarele AC180K și AC181K nu necesită radiator extern de răcire.

Amplificatorul integrat R0B151 poate fi folosit și în alte aplicații interesante, neindicate în catalog, mergând până la frecvența de câțiva MHz. Un dezavantaj major al acestui C.I. constă în dispersia mare a factorului său de amplificare β, ceea ce impune o ajustare a polarizării și centrării tensiunii de ieșire pentru fiecare exemplar de circuit integrat realizat.

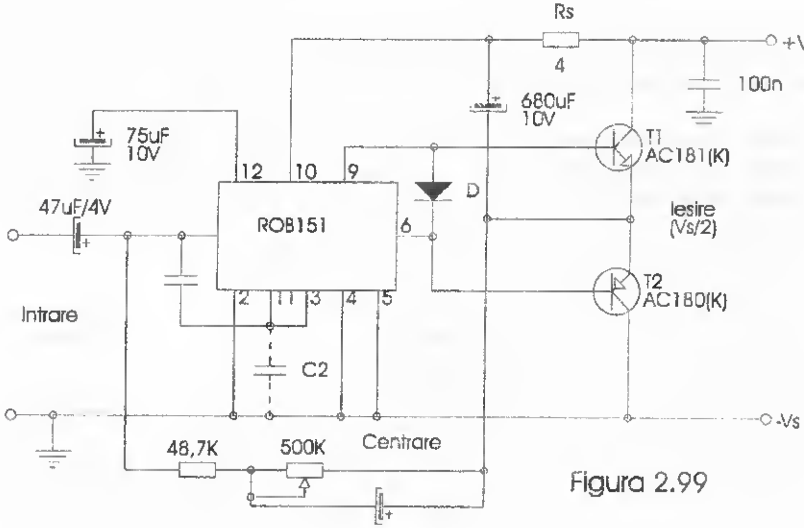


Figura 2.99

A.A.F. cu C.I. de tip TBA 790 (K, T) și TCA 150 (T)

Circuitele integrate de tip TBA 790 T și TCA 150 T sunt produse ale industriei românești de componente electronice (I.P.R.S. – Băneasa). Ele sunt livrate în capsulă de tip CB 155 (sau TABS), cu aripioare pentru prinderea radiatorului extern. Capsula acestor C.I., cu semnificația pinilor, este prezentată în **figura 2.100**.

Deosebirile între cele două tipuri de C.I. constau în curentul maxim de vârf al tranzistoarelor din etajul final, care este de 1,5 A la TBA 790 T și de 2,3 A la TCA 150, pe de o parte, și în prezența unui circuit de protecție termică (de limitare a creșterii temperaturii joncțiunilor) la TCA 150 T, pe de altă parte.

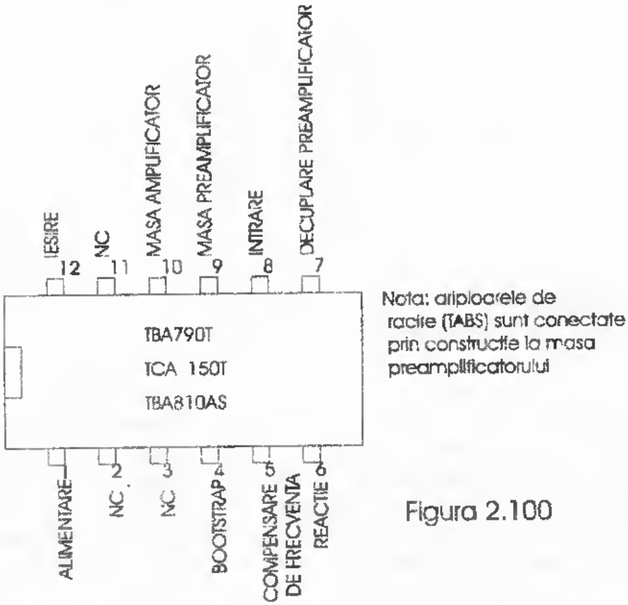


Figura 2.100

Principalele caracteristici electrice ale acestor tipuri de C.I. sunt prezentate (comparativ) în tabelul de mai jos:

Caracteristici electrice	TBA 790 T	TCA 150 T
Tensiunea de alimentare	6 ... 15 V	7,5 ... 18 V
Curentul de ieșire de vârf maxim	1,5 A	2,3 A
Rezistența de sarcină minimă la tensiunea de alimentare maximă	5 Ω	4 Ω
Puterea utilă maximă, cu distorsiuni sub 5%	3,8 W	8,2 W
Amplitudinea maximă a tensiunii de intrare	0,4 V	0,4 V
Amplificarea de tensiune fără reacție	82 dB	82 dB
Tensiunea de ieșire statică (fără semnal)	0.5 Vs	0,5 Vs
Putere utilă maximă fără radiator	1.6 W	1,6 W

În figura 2.101. este prezentată schema unui amplificator de audiofrecvență realizat cu TBA 790 T (TCA 150 T) având sarcina – difuzorul – conectată la plusul sursei de alimentare. Schema mai este denumită și „în configurația cu sarcina în conexiunea bootstrap". Utilizarea în cadrul conexiunii bootstrap a sarcinii (difuzorului) este posibilă atunci când aceasta admite o componentă de curent continuu de câțiva mA. Acest lucru nu constituie, în general, o problemă. Avantajul acestui circuit, la care sarcina este inclusă în circuitul bootstrap, constă în aceea că este mai simplu, având două componente mai puțin.

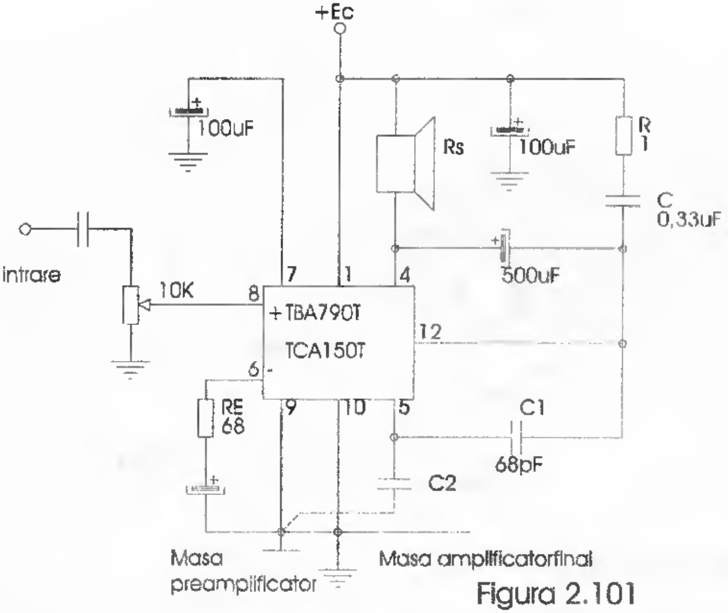


Figura 2.101

Când sursa de semnal nu prezintă o legătură galvanică spre masa montajului, sau când ea prezintă și o componentă continuă de tensiune (care impune o separare prin condensator), trebuie prevăzută o rezistență de legătură spre masă mai mică de 1 MΩ (dacă sursa de semnal poate funcționa corect, chiar mai mică de 100 kΩ). Acest lucru este necesar pentru ca decalarea suplimentară a tensiunii statice de ieșire față de jumătatea valorii tensiunii de alimentare să fie neglijabilă. Pentru valoarea de 1 MΩ decalarea ajunge la 0,3 V !

S-a marcat pe figură cu linie punctată condensatorul de corecție C_2, care este introdus numai în cazul când nu se pot suprima eventualele oscilații ale amplificatorului cu reacție negativă, apărute după introducerea lui C_1. Valoarea acestuia este dată de relația: $C_2 = (5 ...10)\ C_1$.

Rezistorul R_E (împreună cu o rezistență integrată în C.I.) realizează o reacție negativă, de tip paralel-serie, care determină amplificarea în tensiune de valoarea necesară.

Cel de al doilea circuit de corecție (R = 1 Ω și C = 0,33 μF) este strict necesar pentru evitarea deteriorării circuitului integrat, acesta având rolul de înlăturare a oscilațiilor de înaltă frecvență care pot apărea.

Amplificatorul de audiofrecvență în configurația cu difuzorul conectat la masă (în afara conexiunii bootstrap), realizat cu C.I. de tip TBA 790 T (TCA 150 T), prezentat în **figura 2.102.**, utilizează suplimentar rezistorul R_B, care trebuie să fie mai mare de 15 ... 20 de ori (minim de 10 ori) față de rezistența sarcinii.

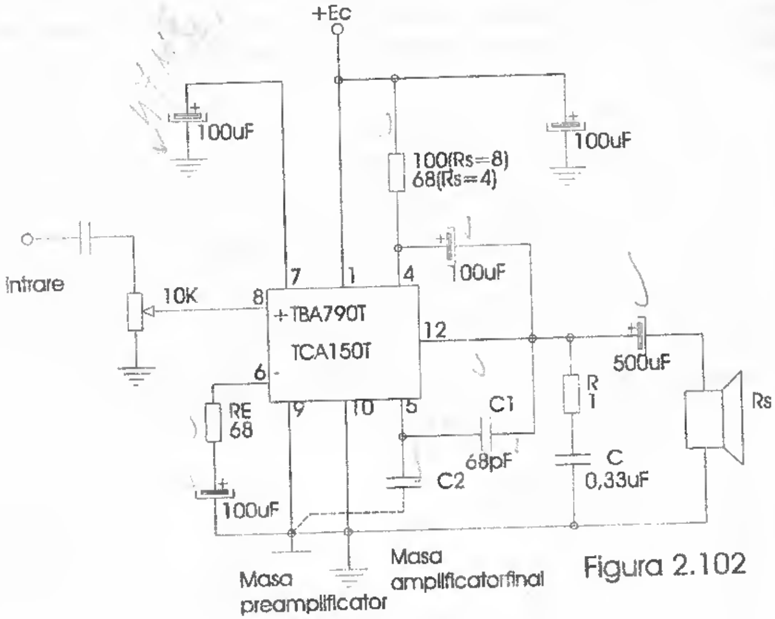


Figura 2.102

A.A.F. cu C.I. de tip TBA 800

Circuitul integrat TBA 800 reprezintă un amplificator de audiofrecvență (joasă frecvență) destul de puțin cunoscut.

Capsula acestui C.I. (TABS) și semnificația terminalelor sunt prezentate în **figura 2.103.**

Principalele caracteristici electrice sunt:

– tensiunea de alimentare: 5 ... 30 V;
– curentul de repaos: 9 mA;
– puterea de ieșire: 5 W (16 Ω la 24 V);
– impedanța de intrare: 5 MΩ;
– tensiunea medie (de A.F.) de intrare: 80 mV;
– câștigul de tensiune în buclă deschisă: 80 dB;
– câștigul de tensiune în buclă închisă: 42 dB;
– banda de frecvență: 40 Hz ... 20 KHz (la 3 dB);
– randament: 70%.

Schema unei aplicații tipice de A.A.F. realizat cu TBA 800 având sarcina (difuzorul) la masă este prezentată în **figura 2.104.**

Menționăm că există posibilitatea utilizării unui difuzor de 8 W, la o tensiune de alimentare de 12 V ... 13 V, puterea de ieșire fiind, în acest caz, de 4 W.

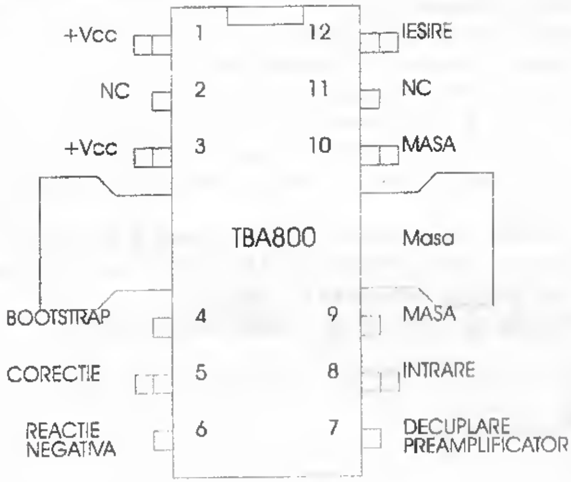


Figura 2.103

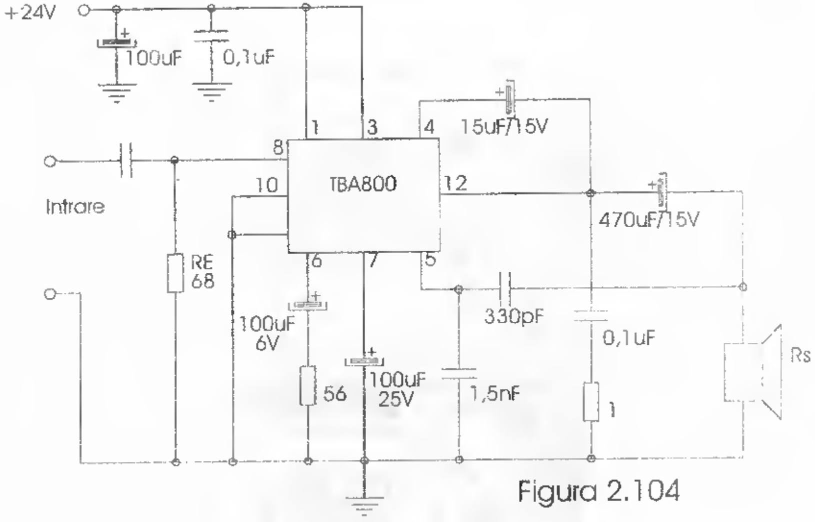


Figura 2.104

A.A.F. cu C.I. de tip TBA 810 S (TBA 810 AS)

Aceste circuite integrate, extrem de răspândite în aparatura electronică, de tip TBA 810 S, respectiv TBA 810 AS, sunt produse de firma SGS-ATES, fiind echivalente cu MBA 810 S, respectiv MBA 810 AS produse de TESLA. Semnificația literelor S, respectiv AS, din sufixul codului acestor C.I. se referă numai la diferențele dintre valorile rezistențelor termice joncțiune-ambient (70°C/W în primul caz și respectiv 80°C/W în cel de-al doilea).

Caracteristicile electrice principale ale acestor C.I. sunt:

– tensiunea de alimentare: 20 V;

– curentul de vârf la ieșire (repetitiv): 2,5 A;

– puterea disipată maximă (cu radiator infinit): 5 W;

– gama temperaturilor de lucru: –25°C ... +70°C.

În **figurile 2.105.** și **2.107.** sunt prezentate două scheme tipice de aplicație a acestor C.I., respectiv amplificator de audio frecvență cu sarcina (difuzorul) la borna caldă (plusul sursei de alimentare), și cu difuzorul la borna rece a sursei de alimentare (masă).

Sunt recomandate difuzoarele de 4 Ω. Pe o astfel de sarcină se obține o putere de ieșire de 7 W (Vcc – 16 V), 6 W (Vcc = 14,4 V), 2,5 W (Vcc = 9 V) sau 1 W (Vcc = 6 V) pentru un coeficient de distorsiuni δ = 10%.

Banda de frecvență transmisă (la –3 dB) este de 20 kHz.

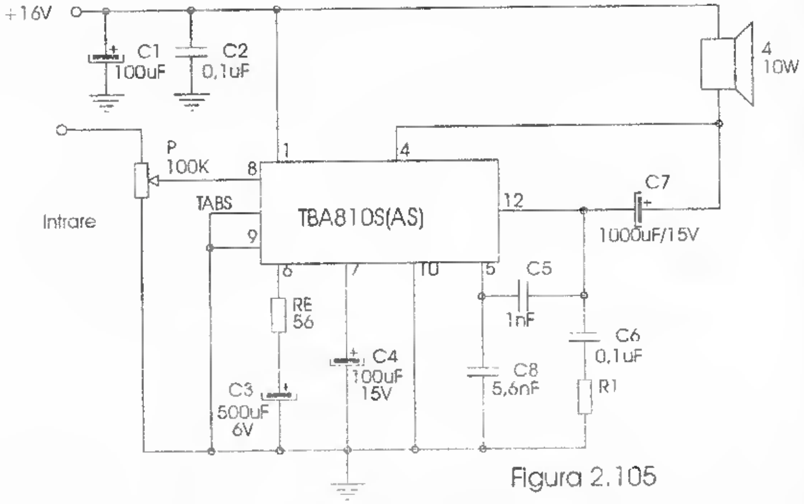


Figura 2.105

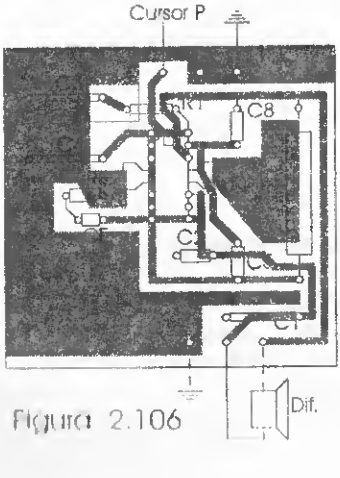


Figura 2.106

Cablajul imprimat al amplificatorului audio realizat cu TBA 810 S cu difuzorul la borna caldă este prezentat în **figura 2.106.**, iar cablajul amplificatorului cu difuzorul la borna rece în **figura 2. 108**.

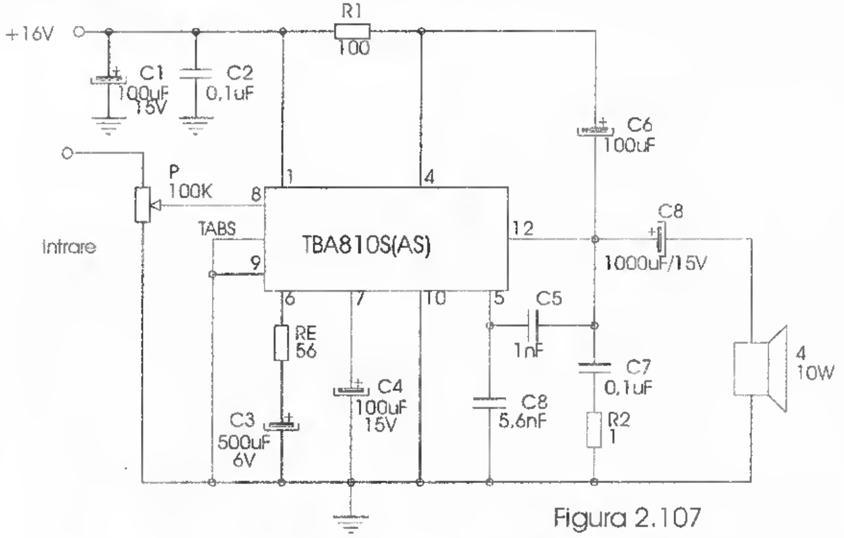


Figura 2.107

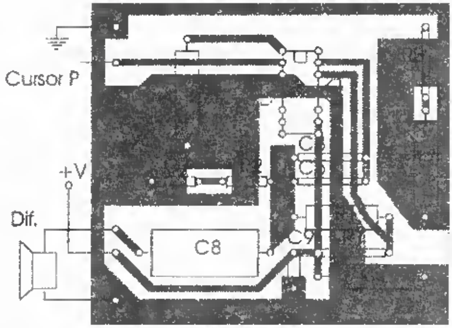


Figura 2.108

În **figura 2.109.**, este prezentată schema unui amplificator audio cu o putere de cca. 10 W (pe o sarcină de 8 Ω), utilizând două C.I. de tip TBA 810 S. Banda frecvențelor redate este cuprinsă între 40 Hz ... 16 kHz, cu un coeficient de distorsiuni de 1,5%.

Se remarcă pe schemă că, în timp ce unul dintre C.I. de tip TBA 810 S este în conexiunea clasică, celălalt are intrarea (pinul 8) conectată la masă, iar semnalul obținut de la ieșirea primului integrat este aplicat pe pinul de reacție (6) prin intermediul grupului R_5, C_7. Astfel se obține la ieșirea celui de-al doilea C.I. (pinul 12) un semnal amplificat și defazat cu 180° față de semnalul de la ieșirea primului C.I. Aceste două semnale se aplică sarcinii (difuzorului), rezultând astfel un semnal de circa două ori mai mare decât în cazul amplificatorului cu un singur circuit integrat TBA 810 S.

Valorile lui R_5 și C_7 se ajustează experimental, în vederea obținerii unor distorsiuni minime.

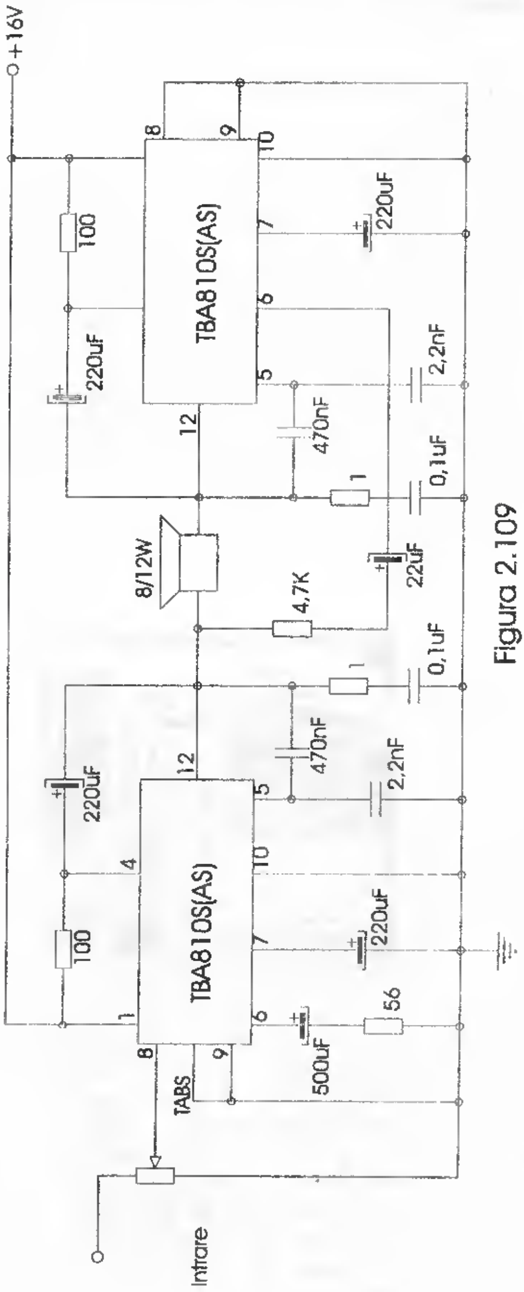

+16V
TBA810S(AS)
TBA810S(AS)
100
100
220uF
220uF
220uF
220uF
2,2nF
2,2nF
470nF
470nF
0,1uF
0,1uF
1
1
22uF
4,7K
8/12W
56
500uF
TABS
Intrare

Figura 2.109

A.A.F. cu C.I. de tip TBA 820 (TBA 820 M)

Circuitul integrat TBA 820 M este un amplificator audio de putere, destinat să lucreze în clasă B. El se livrează în capsulă DIL de plastic (cu 14 pini – TBA 820 sau 8 pini – TBA 820 M). Capsula integratului (vedere de sus) și semnificația pinilor sunt prezentate și semnificația pinilor sunt prezentate în **figura 2.110.** (8 DIP–TBA 820 M).

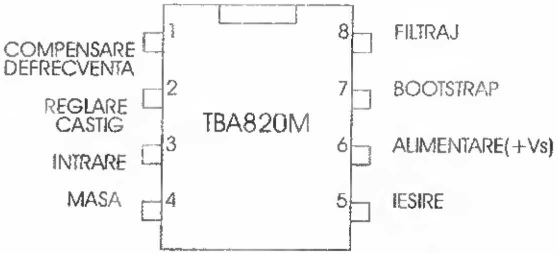


Figura 2.110

Principalele caracteristici electrice ale acestui C.I. sunt:
– tensiunea maximă de alimentare: 16 V (nominală 9 V);
– curentul (de vârf) de ieșire = 1,5 A;
– puterea totală disipată (la t_{amb} = 50°C): 1 W.

Circuitul integrat lucrează într-un domeniu foarte extins al tensiunilor de alimentare, cuprins între 3 V și 16 V. Amplificatoarele audio realizate cu acest C.I. prezintă un „consum" redus de curent, un număr restrâns de componente externe necesare, un ripplu redus, precum și absența distorsiunilor de cross-over.

Puterile furnizate la ieșire sunt: 2 W (la 12 V/8 Ω), 1,6 W (la 9 V/4 Ω) și respectiv 1,2 W (la 9 V/8 Ω).

În **figura 2.111.** este prezentată schema unui amplificator de joasă frecvență (A.A.F.) realizat cu TBA 820 M, având sarcina (difuzorul) conectată la plusul sursei de alimentare, iar în **figura 2.112.** schema unui A.A.F. cu difuzorul la masă.

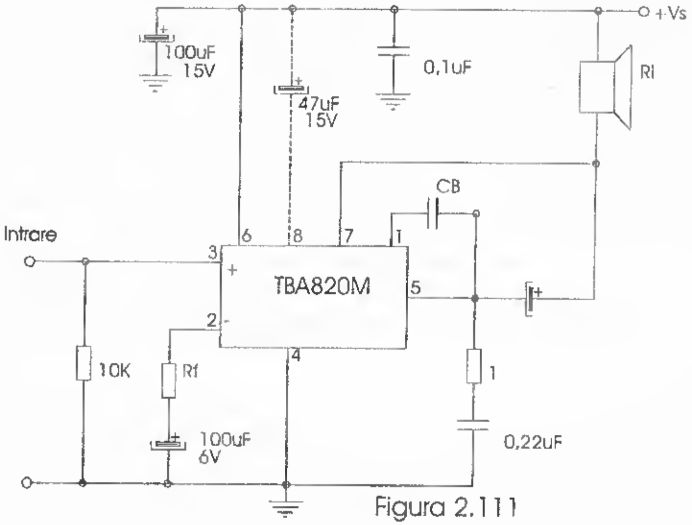


Figura 2.111

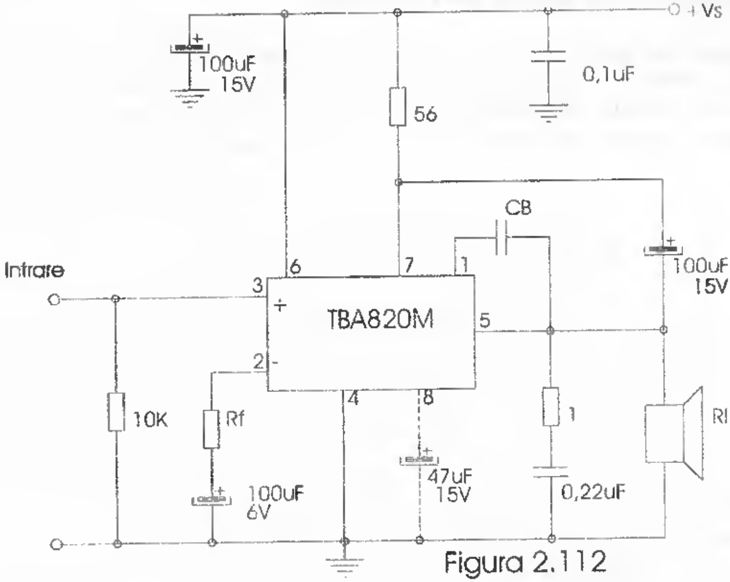


Figura 2.112

A.A.F. cu C.I. de tip A 210 K și A 211 K și C.I. duale de tip A 2000 V, Vm și A 2005 V, Vm

Aceste circuite integrate, încă foarte răspândite pe piața românească și în aparatura electronică comercializată, au fost livrate de firma RFT (din fosta R.D. Germană). Acestea sunt recomandate în aparatura electroacustică mai puțin pretențioasă, respectiv în cea portabilă sau destinată sonorizării autovehiculelor.

Principalele caracteristici electrice ale acestor tipuri de C.I. sunt prezentate în tabelul de mai jos. În plus, C.I. de tip A 210 conține o rețea de protecție termică care intră în acțiune la temperatura de 130° C a carcasei.

În **figura 2.113.** este prezentată o schemă electrică de utilizare ca A.A.F. pentru C.I. de tip A 210 K, prevăzută cu reglaj pentru corecția tonului separat pentru frecvențele joase și cele înalte.

Menționăm că majoritatea aplicațiilor destinate executării cu C.I. de tip TBA 810 S pot fi făcute cu A 210 K.

Schema electrică de utilizare a C.I. de tip A 211 D este prezentată în **figura 2.114.** (difuzorul conectat la masă), iar în **figura 2.115.** se ilustrează modul în care se obține extinderea (mărirea) puterii de ieșire a amplificatorului audio realizat cu A 211 D la cca. 5 W (pentru o tensiune de alimentare de 12 V). În acest scop se utilizează o pereche de tranzistoare complementare de tip BD 441, BD 442 (sau chiar BD din seria 200), montate pe un radiator de răcire cu o suprafață corespunzătoare.

Circuitele integrate de tip A 2000 V, Vm și A 2005 V, Vm sunt amplificatoare audio de putere duale destinate aparaturii stereofonice sau celei monofonice (utilizând, în acest caz, montaje în punte) de larg consum. Aceste amplificatoare duale conțin, de fapt, două circuite A 210 integrate în aceeași capsulă.

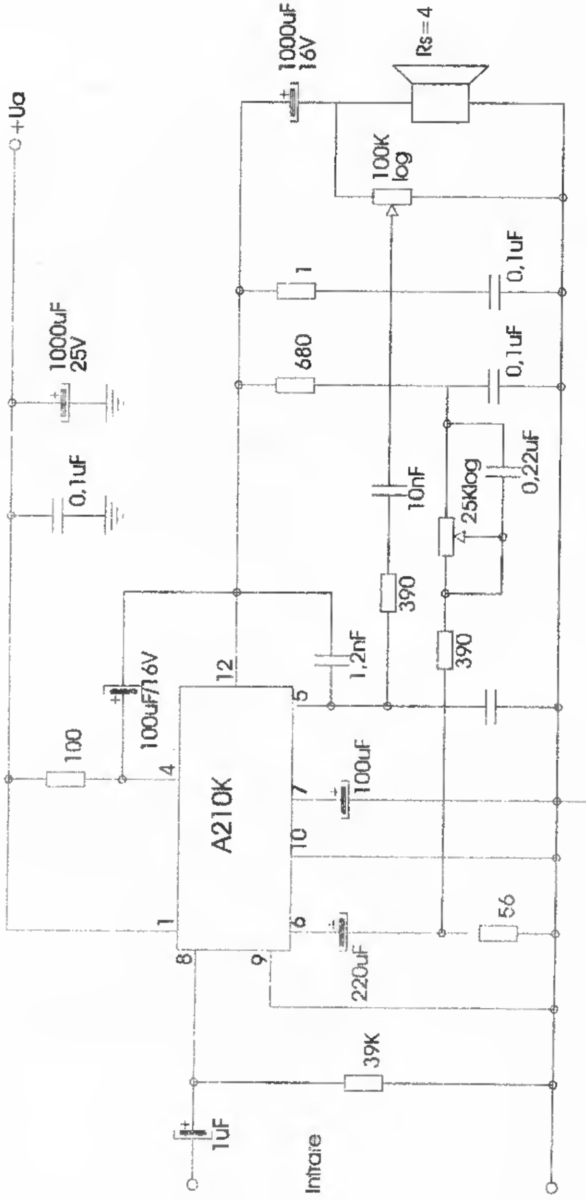

+Ua
1000uF
25V
0,1uF
100
100uF/16V
A210K
1
4
8
9
12
5
7
10
6
1,2nF
100uF
220uF
39K
1uF
Intrare
390
390
10nF
25Klog
0,22uF
680
0,1uF
1
0,1uF
56
100K
log
1000uF
16V
Rs=4

Figura 2.113

Tabel

Nr. crt.	Parametrul	Notația	UM	A 210 E, K	A 211 D	A 2000 V, Vm	A 2005 V, Vm
1.	Tensiune de alimentare	Ua	V	4 ÷ 20	4 ÷ 15	4 ÷ 18	4 ÷ 18
2.	Curentul maxim la ieșire	$I_{OUT\,max}$	A	2,5	1	2,5	3,5
3.	Putere de ieșire (THD ≤ 10%)	P_{OUT}	W	5,8/4 Ω	1/8 Ω	6/4 Ω	6,4/4 Ω
4.	Frecvență max. de lucru	f_{max}	kHz	41	25	68	85
5.	Impedanța de intrare	R_{IN}	kΩ	500	450	100	120
6.	Factor de distorsiuni (pt. P_{OUT} = 50 mW)	THD	%	0,16	1,33	0,28	0,18
7.	Câștig la f = 1 kHz	Au	dB	37	47	83	84
8.	Raport $\frac{S+N}{N}$ (f = 20 Hz ÷ 20 kHz, P_{OUT} = 50 mW)	f_{zg}	dB	–	–	–	–
9.	Echivalent direct (pin cu pin)	–	–	–	–	(TDA 2000 SGS ATES SPRAGUE)	(TDA 2005 SGS ATES SPRAGUE)
10.	C.I. apropiat	–	–	(TBA 810 TCA 150 AS SGS ATES IPRS	(TBA 790 UL 1481 IPRS UNITRA)	–	–
11.	Capsulă	–	–	DIP 12	DIL 14	(TO 220-11 11 pini)	(TO 220-11 11pini)

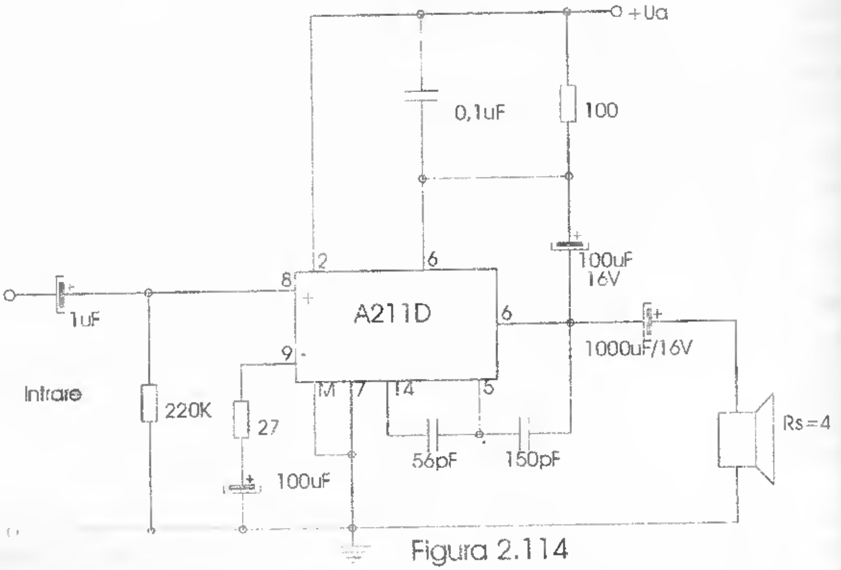


Figura 2.114

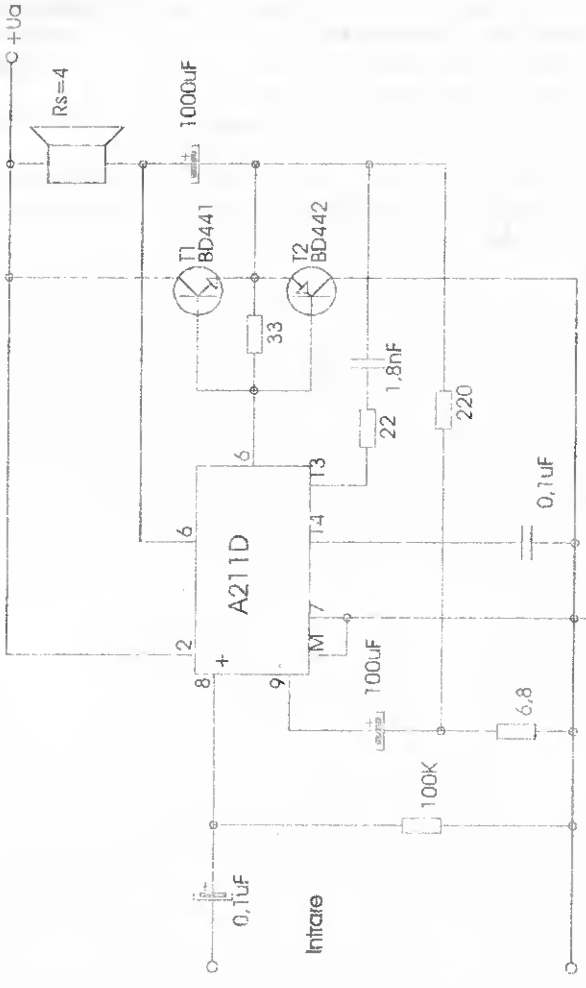


Figura 2.115

În **figura 2.116** este prezentată schema unui amplificator monofonic în punte, realizat cu C.I. A 2000 Vm, A 2005 Vm. Pentru acest gen de scheme (aplicații monofonice, conexiune în punte) se recomandă numai circuitele integrate cu sufixul m (de exemplu A 2005 Vm). Acest montaj permite furnizarea pe sarcină (difuzor) a unei puteri duble față de cazul normal.

Un amplificator stereofonic realizat cu A 2000 V, A 2005 V este prezentat în **figura 2. 117.**

Menționăm că circuitul integrat A 2005 V este foarte util pe sarcini cu impedanță mică, furnizând o putere de 2 x 10 W (pe o sarcină de 2 Ω pe canal), la o tensiune de alimentare de 14,4 V (special pentru echipamentele auto).

Aceste C.I. prezintă avantajul unui minim de componente externe necesare, precum și pe acela al faptului că posedă protecție termică la suprasarcină și scurtcircuit pe sarcină.

Cele două integrate pot fi utilizate cu succes și la alimentarea motoarelor de curent continuu controlate cu semnale analoage, sau interfațate corespunzător, controlate cu informație codificată digital.

În vederea proiectării cablajelor imprimate pentru aceste amplificatoare audio de putere, se recomandă respectarea câtorva reguli:

– conexiunile de alimentare și de ieșire vor avea rezistența proprie cât mai mică, deci traseele respective vor avea o lățime de cel puțin 3 mm;

– condensatoarele pentru cuplaj cu sarcina de filtraj și de decuplare a sursei de alimentare se vor monta cât mai aproape de terminalele circuitului integrat respectiv;

– se vor evita buclele de masă.

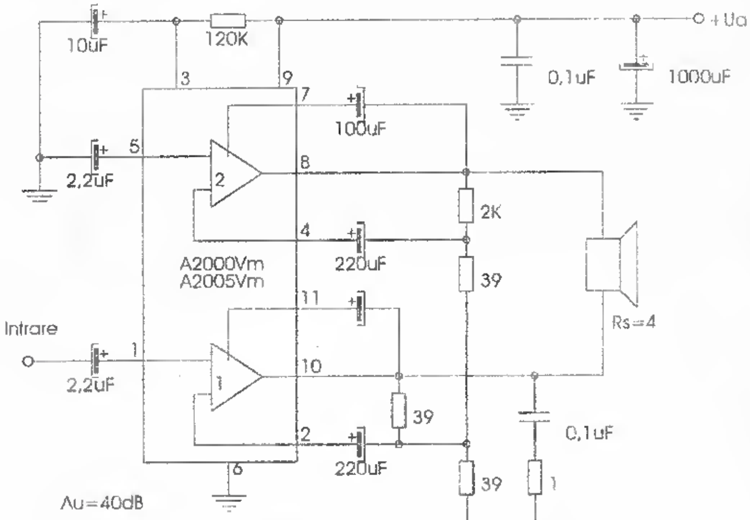


Figura 2.116

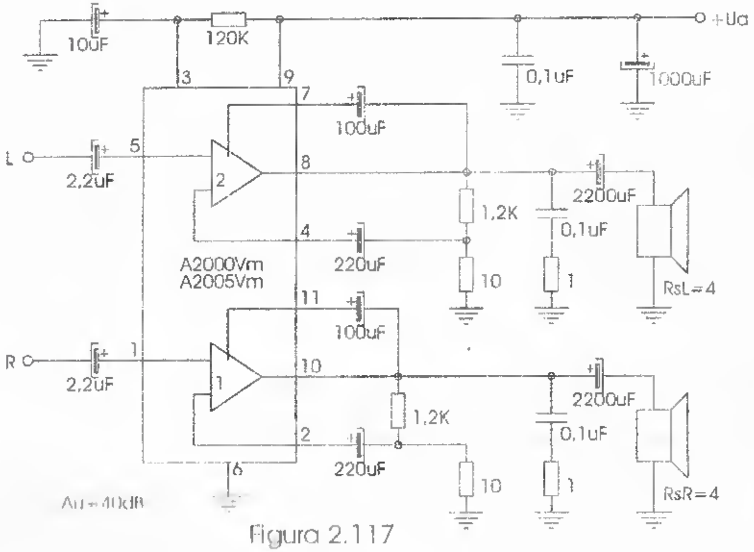


Figura 2.117

A.A.F. cu C.I. din seria UL 14XX

Aceste amplificatoare de audiofrecvență din seria UL 14 XX sunt produse în Polonia și sunt destul de răspândite în aparatura electroacustică de pe piața românească.

Principalele caracteristici electrice ale acestor C.I. sunt următoarele:

Tabel

Tipul C.I.	Un om [V]	Umax [V]	POUT [W]	f max (kHz)	RL [Ω]
UL 1401 L	11	16	1	100	8
UL 1401 P	11	16	1	100	8
UL 1402 P	13,2	18	2	100	4
UL 1403 L	18	25	3	100	8
UL 1403 P	18	25	3	100	8
UL 1405 L	22	27	5	100	8
UL 1461	13,2	18	3		4
UL 1480 P	24	30	5	20	16
UL 1481 P	14,4	20	6	20	4
UL 1490 N	9	12	0,65	100	15
UL 1491 R	9	12	1,2	100	8
UL 1492 R	12	15	2,1		8
UL 1493 R	9	12	2,1		4
UL 1495 N	9	12	0,65	100	15
UL 1496 R	9	12	1,2		8
UL 1497 R	12	15	2,1		8
UL 1498 R	9	12	2,1		4

În **figurile 2.118. – 2. 121.** sunt prezentate o serie de scheme practice de amplificatoare audio realizate cu circuite integrate din seria UL14 XX. Astfel, în **figura 2.118.** este prezentat un montaj de A.A.F. realizat cu C.I. de tipul UL 1401, UL 1402, UL 1403 și UL 1405, cu sarcina (difuzorul) la masă.

În **figura 2.119.** este prezentat un amplificator audio realizat cu C.I. de tip UL 1461, cu difuzorul la masă.

În **figurile 2.120.** și **2.121.** sunt date două montaje practice reprezentând A.A.F. realizate cu integratele UL 1490, 91, 92, 93, 96, 97 și 98 în configurațiile cu sarcina conectată la borna caldă a sursei de alimentare, respectiv la cea rece (la masă).

A.A.F. cu C.I. din seria K 174YHXX

Aceste amplificatoare de audiofrecvență sunt produse în fosta U.R.S.S. Caracteristicile lor principale sunt prezentate în tabelul de mai jos:

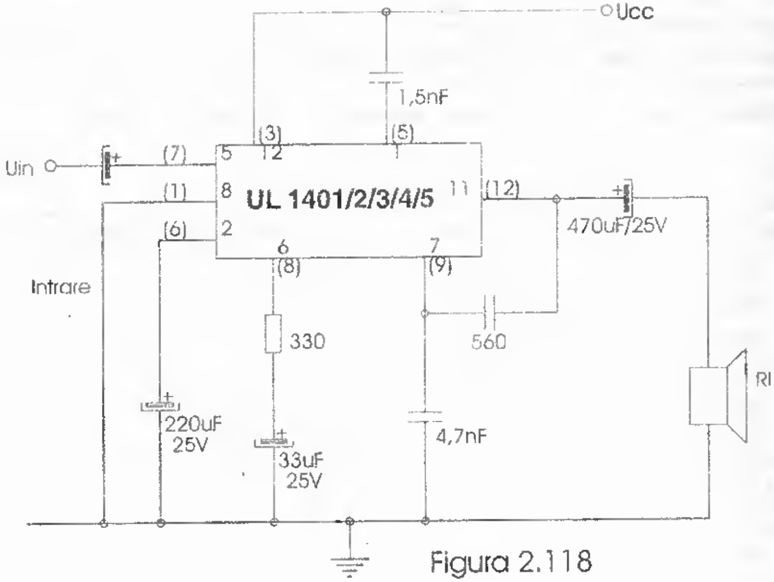


Figura 2.118

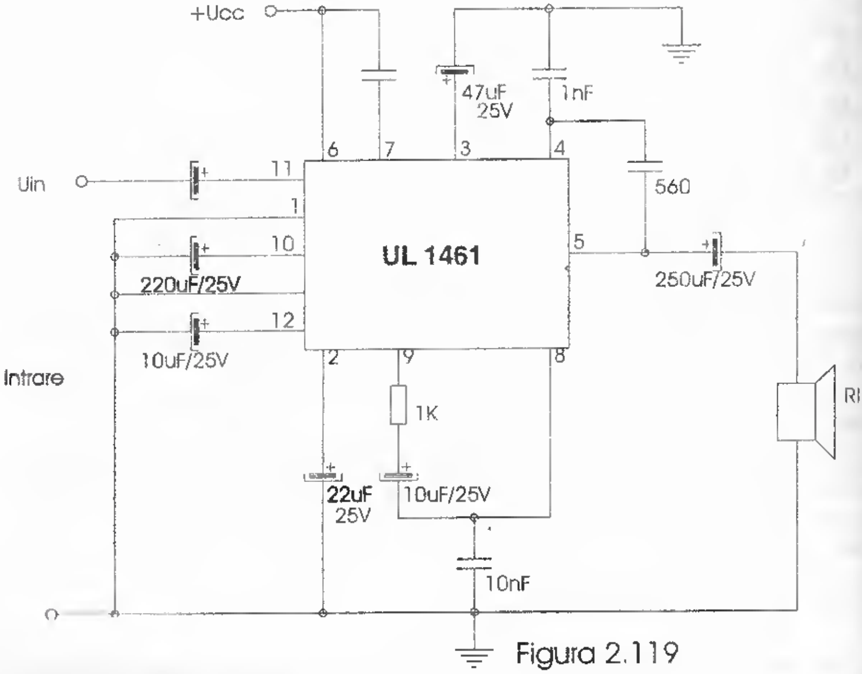


Figura 2.119

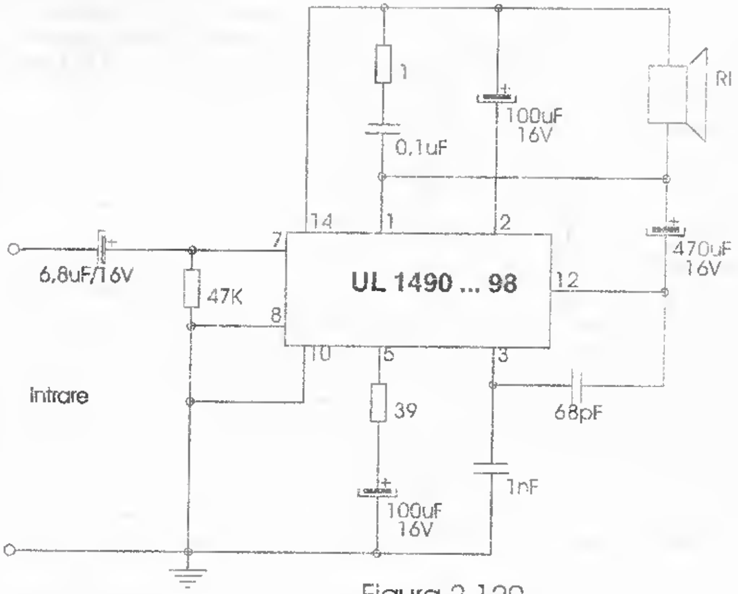


Figura 2.120

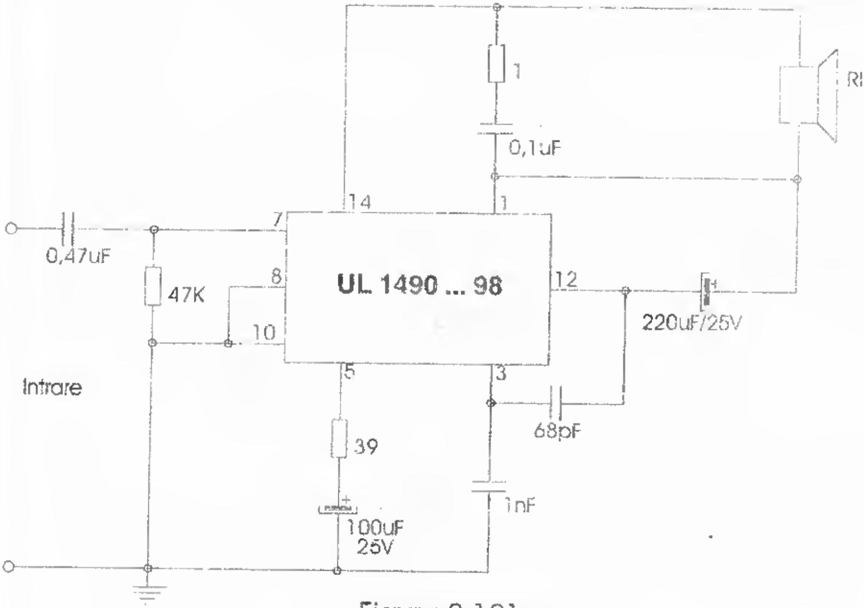


Figura 2.121

Tabel

Tipul C.I.	U_{Cnom} [V]	U_{Cmax} [V]	R_L(Ω)	P_{OUT} [Ω]	f_{rmax} (kHz)
K 174 YH4A	9	9,9	4	1	20
K 174 YH4B	9	9,9	4	0,7	20
K 174 YH5	12	13,2	4	2	20
K 174 YH7	15	18	4	4,5	20
K 174 YH8	12	13,2	4	2	20
K 174 YH9A	18	24	4	5	20
K 174 YH9B	18	24	4	(4,5)5	16
K 174 YH11	±15	±18	4	10	20
K 174 YH14	15	16,5	4	2,5	20
K 174 YH15	15	16,5	2	6	20
K 174 YH17	3	6,6	40	10m	20
K 174 YH18	9	12	4	1	20
K 174 YH19	±15	±18	4	15	20

În **figurile 2.122. ... 2.128.** sunt prezentate o serie de scheme practice de amplificatoare audio realizate cu circuite integrate din seria K 174 YHXX.

Astfel, în **figura 2.122.** este prezentat un montaj de A.A.F. realizat cu C.I. de tip K 174 YH4 și K 174 YH4B.

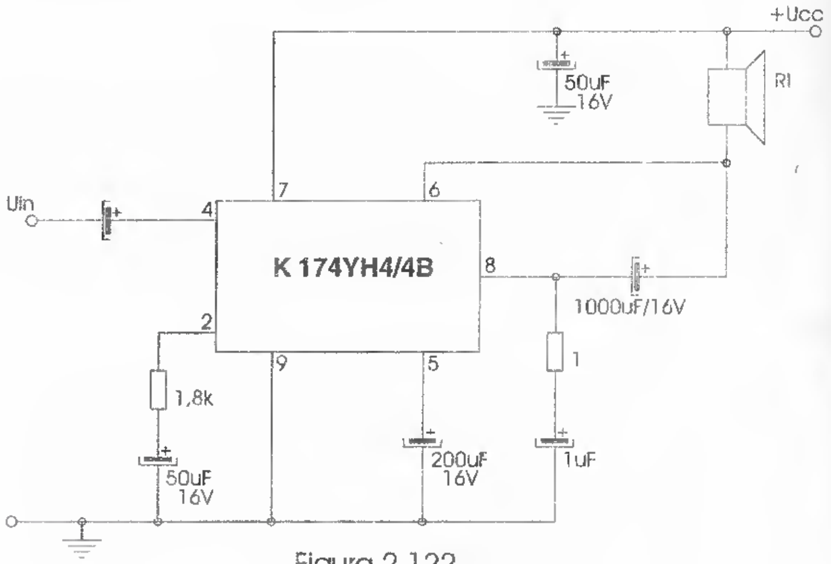


Figura 2.122

În **figura 2.123.** este prezentat un montaj practic de A.A.F. realizat cu K 174 YH5, în **figura 2.124.** un montaj realizat cu K 174 YH7, în **figura 2.125.** un montaj cu C.I. de tip K 174 YH8, în **figura 2.126.** un montaj cu K 174 YH9A și K 174 YH9B, iar în **figura 2.128.** un montaj cu K 174 YH14.

În **figurile 2.127.a.** și respectiv **2.127.b.** sunt prezentate două montaje practice de A.A.F. utilizând unul, respectiv două C.I. de tipul K 174 YH11. Menționăm că, dacă în primul caz puterea de ieșire atinge 10 W, în cel de-al doilea ea poate depăși 15 W.

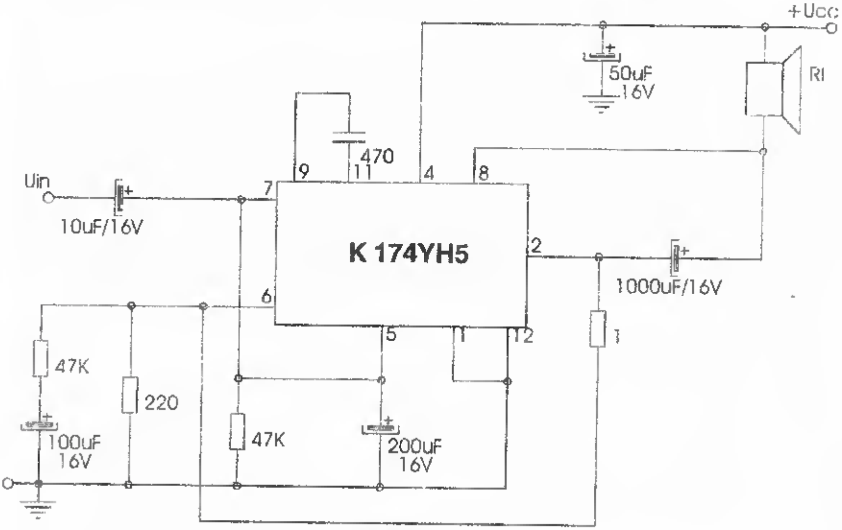


Figura 2.123

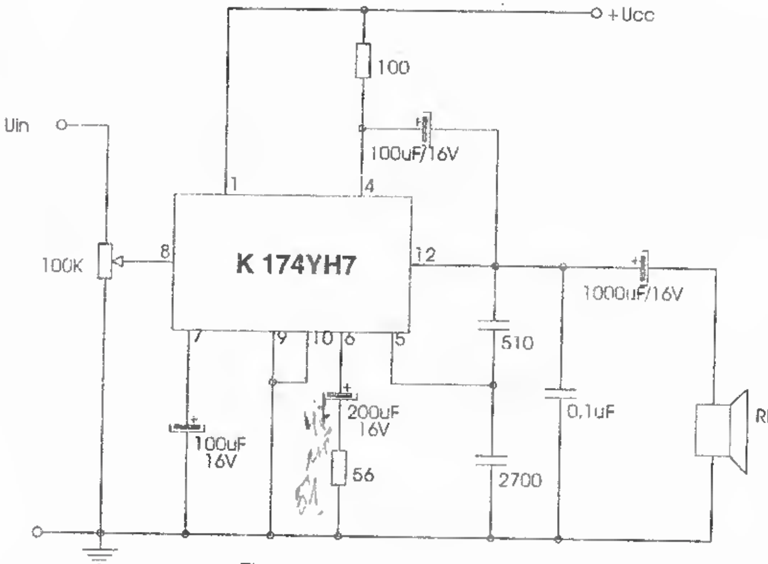


Figura 2.124

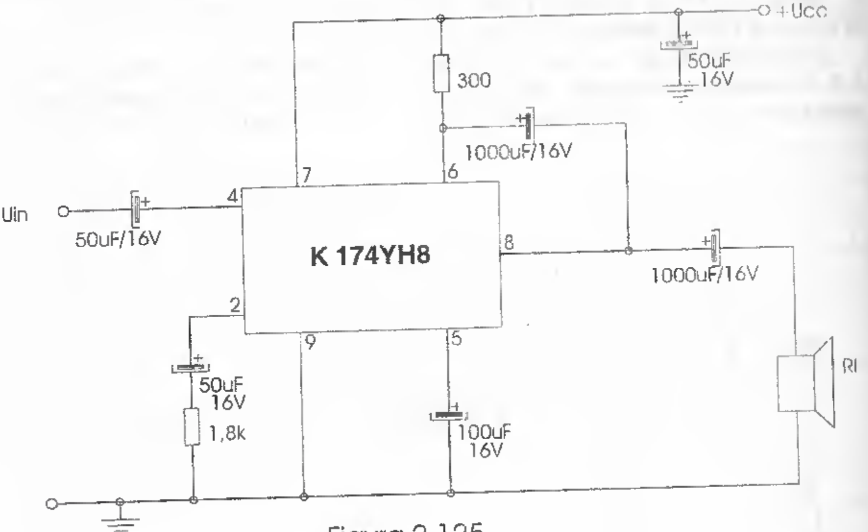


Figura 2.125

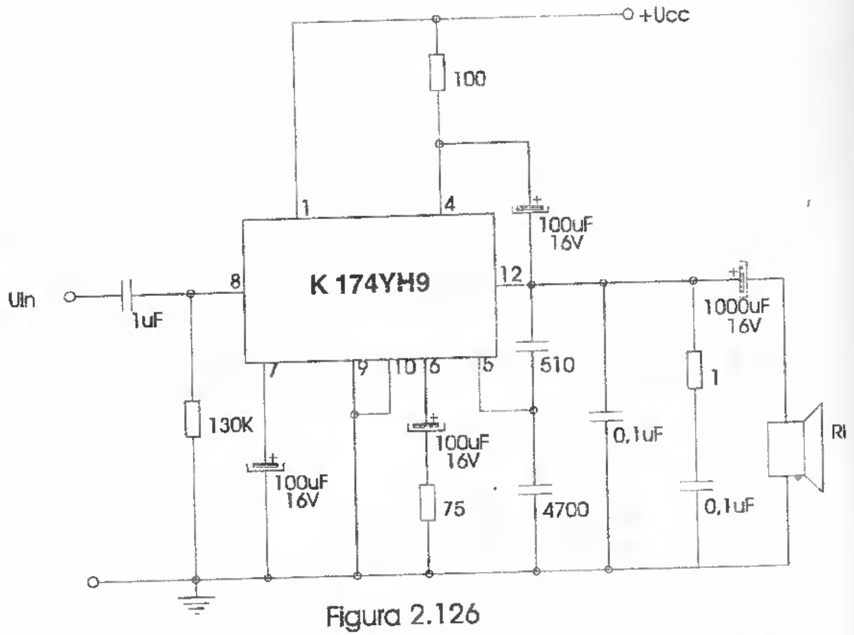


Figura 2.126

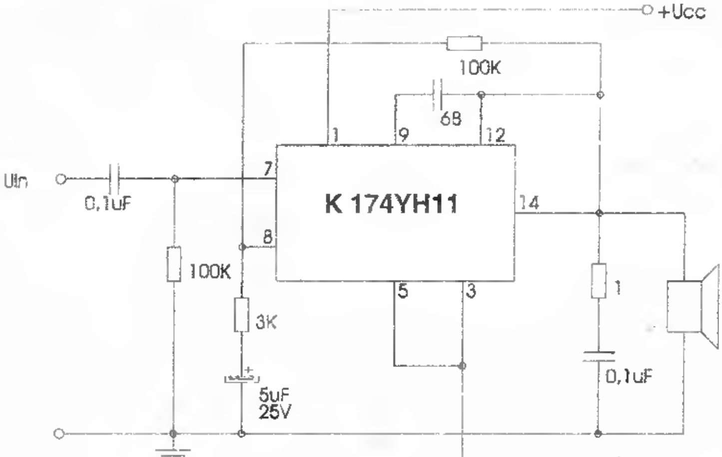


Figura 2.127a

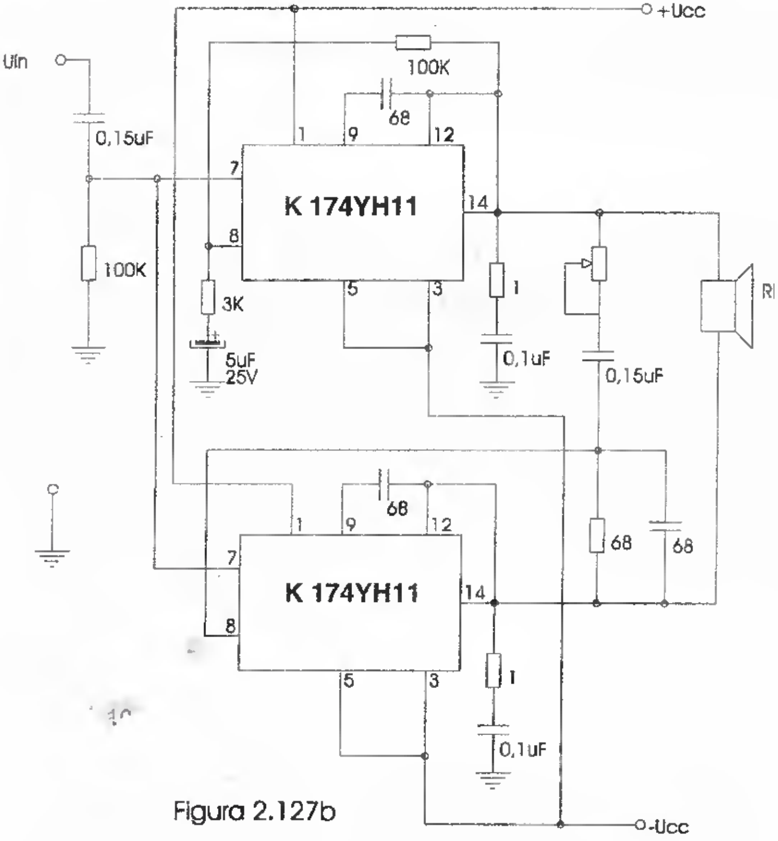


Figura 2.127b

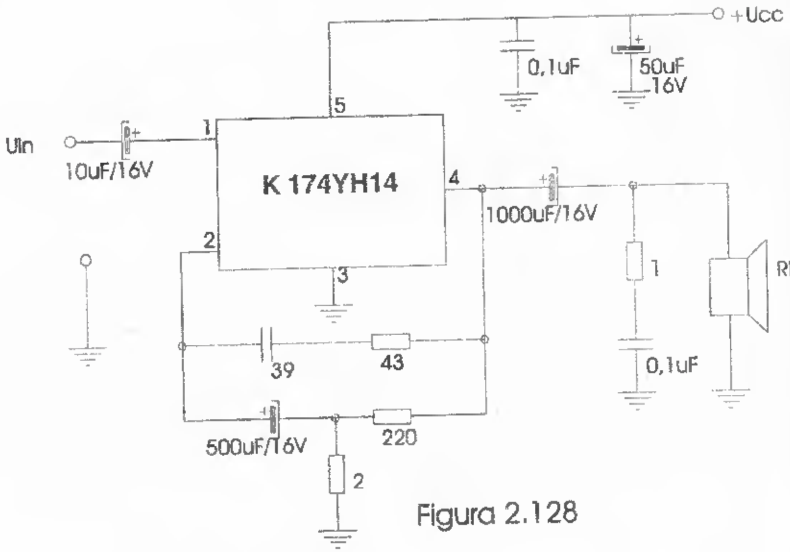


Figura 2.128

În **figurile 2.129. ... 2.131.** sunt prezentate amplificatoare audio cu C.I. K 174 YH15, YH17 și YH18 utilizând două difuzoare.

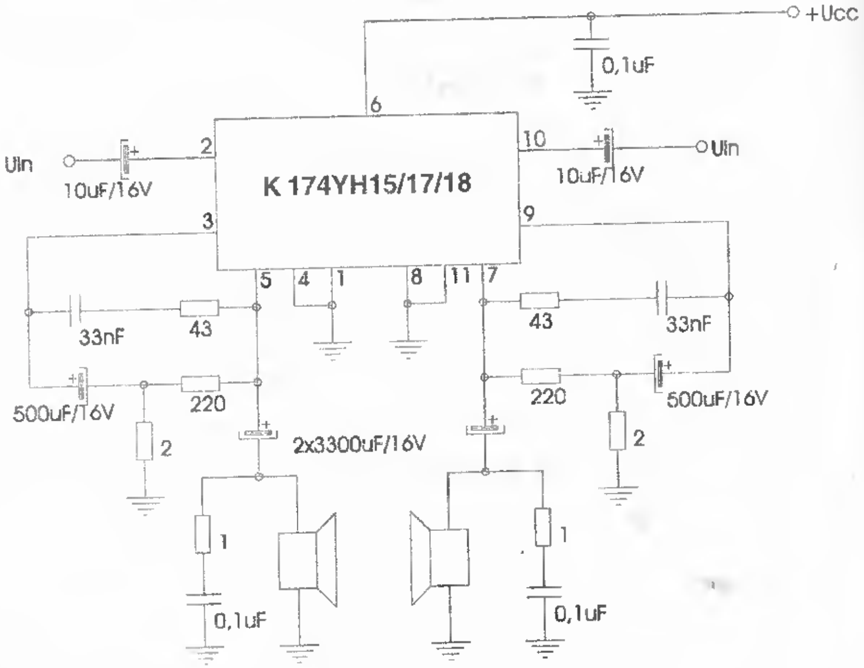


Figura 2.129

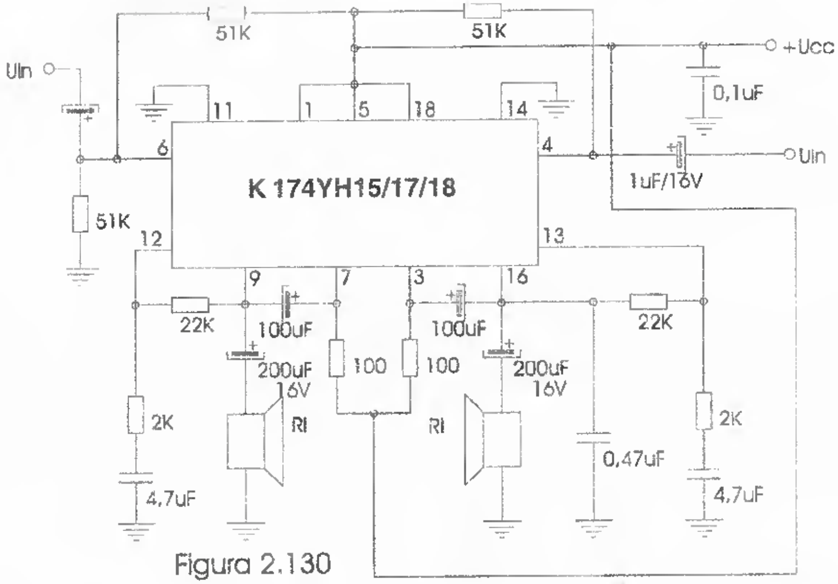


Figura 2.130

În **figurile 2.132.a.** și **b.** sunt prezentate două variante de schemă de amplificator audio realizat cu C.I. K 174 YH19.

A.A.F. cu C.I. din seria SI 1000

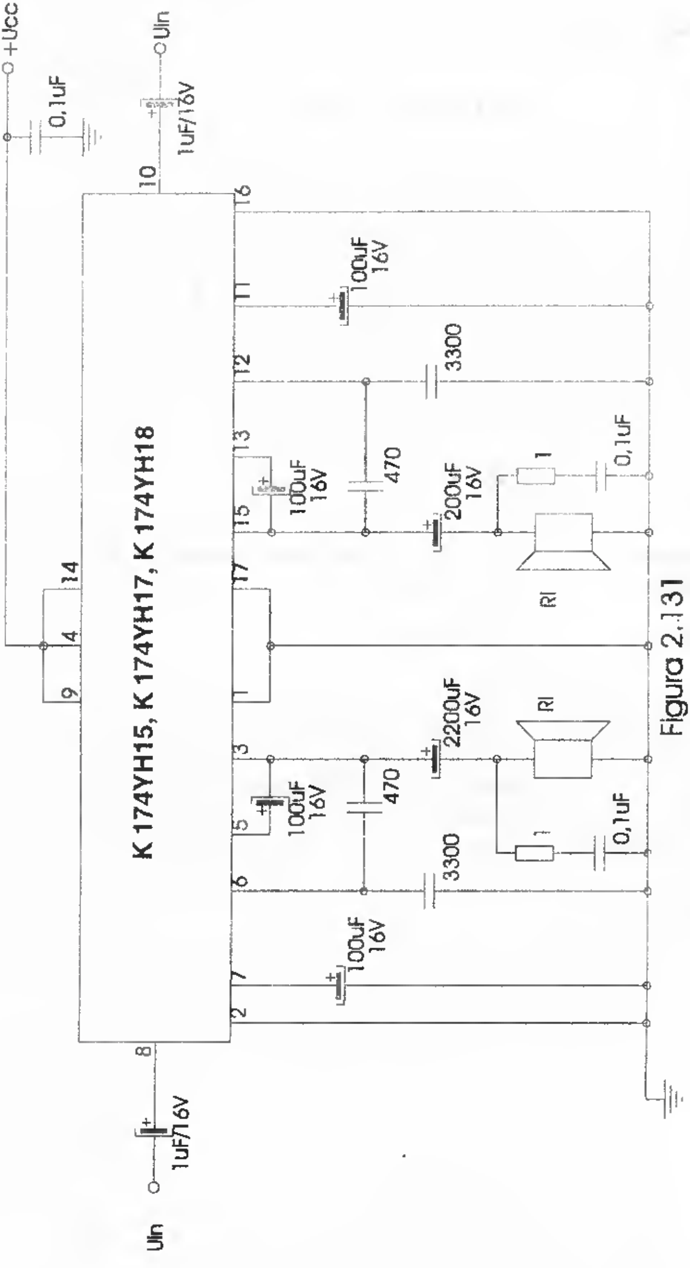
Aceste amplificatoare audio de putere sunt produse de firma japoneză Sanken.

Sunt prezentate schemele mai multor amplificatoare audio realizate cu aceste circuite integrate, după cum urmează: **figura 2.133.** (SI 1010 G, SI 1020 G), **figura 2. 134.** (SI 1020 GL, SI 1030 GL), **figura 2.135.** (SI 1020 H), **figura 2.136.** (SI 1050 GL, SI 1050 G), **figura 2.137** (SI 1125 H), **figura 2.138.** (SI 1130 H) și **figura 2.139.** (SI 1125 HD).

Caracteristicile electrice ale A.A.F. din familia SI 1000 sunt prezentate în tabelul de mai jos.

Tabel

Tipul C.I.	U_c [V]	P_{out} [W]	R_L [W]	f_r [Hz]
SI 1010 G	±17	10	8	10–20.000
SI 1020 G	±23	20	8	10–20.000
SI 1020 GL	±23	20	8	10–50.000
SI 1030 GL	±27	30	8	10–50.000
SI 1050 GL	±33	50	8	10–30.000
SI 1125 HD	±25	25	8	20–20.000
SI 1130 H	±23	30	8	10–20.000
SI 1125 HD	±25	2x25	8	10–20.000



+Ucc
0,1uF
Uin
1uF/16V
K 174YH15, K 174YH17, K 174YH18
100uF 16V
3300
470
200uF 16V
2200uF 16V
1
0,1uF
Rl
Rl
100uF 16V
3300
470
1
0,1uF
100uF 16V
1uF/16V
Uin

Figura 2.131

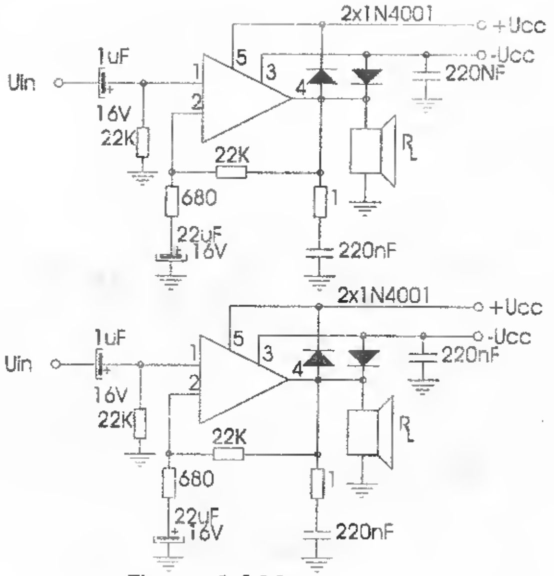


Figura 2.132

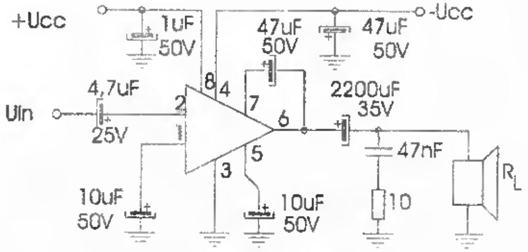


Figura 2.133

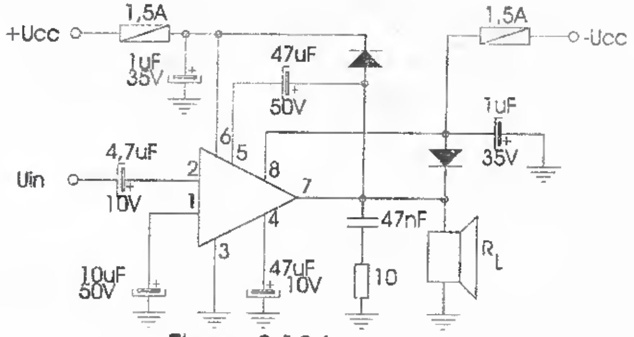


Figura 2.134

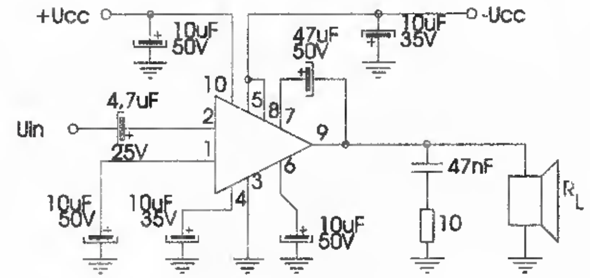


Figura 2.135

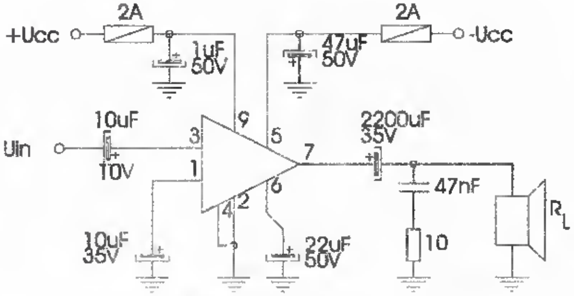


Figura 2.136

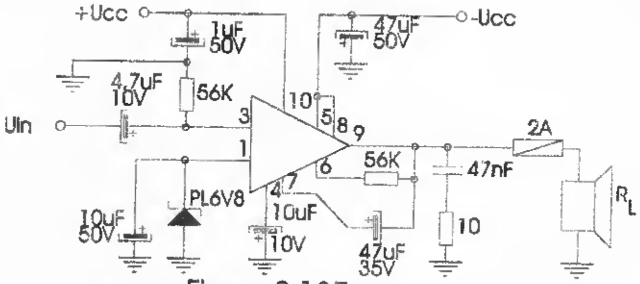


Figura 2.137

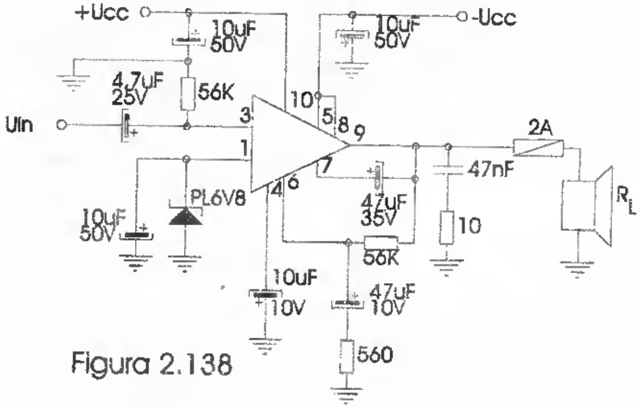


Figura 2.138

A.A.F. cu C.I. din seria STK

Amplificatoarele de audiofrecvență de putere din seria STK sunt produse ale firmei japoneze Sanyo. Ele sunt realizate în tehnologie hibridă, într-o gamă extrem de largă de produse. Enumerăm doar câteva dintre acestea: STK 020, STK 024, STK 025, STK 027, STK 030, STK 031, STK 035, STK 050, STK 070, STK 075, STK 077, STK 078, STK 080, STK 082, STK 084, STK 085, STK 086, de asemenea STK 413, STK 415, STK 430, STK 437, STK 439, STK 441, STK 443, STK 457, STK 459, STK 460, STK 461, STK 463, STK 465, precum și STK 4017, STK 4019, STK 4021, STK 4023, STK 4024, STK 4025, STK 4026, STK 4028, STK 4030, STK 4036, STK 4038, STK 4040, STK 4042, STK 4048. Din seria STK 4100 enumerăm: STK 4101, STK 4102, STK 4111, STK 4112, STK 4121, STK 4122, STK 4131, STK 4132, STK 4141, STK 4142, STK 4151, STK 4152, STK 4161, STK 4162, STK 4171, STK 4172, STK 4181, STK 4182, STK 4191, STK 4192.

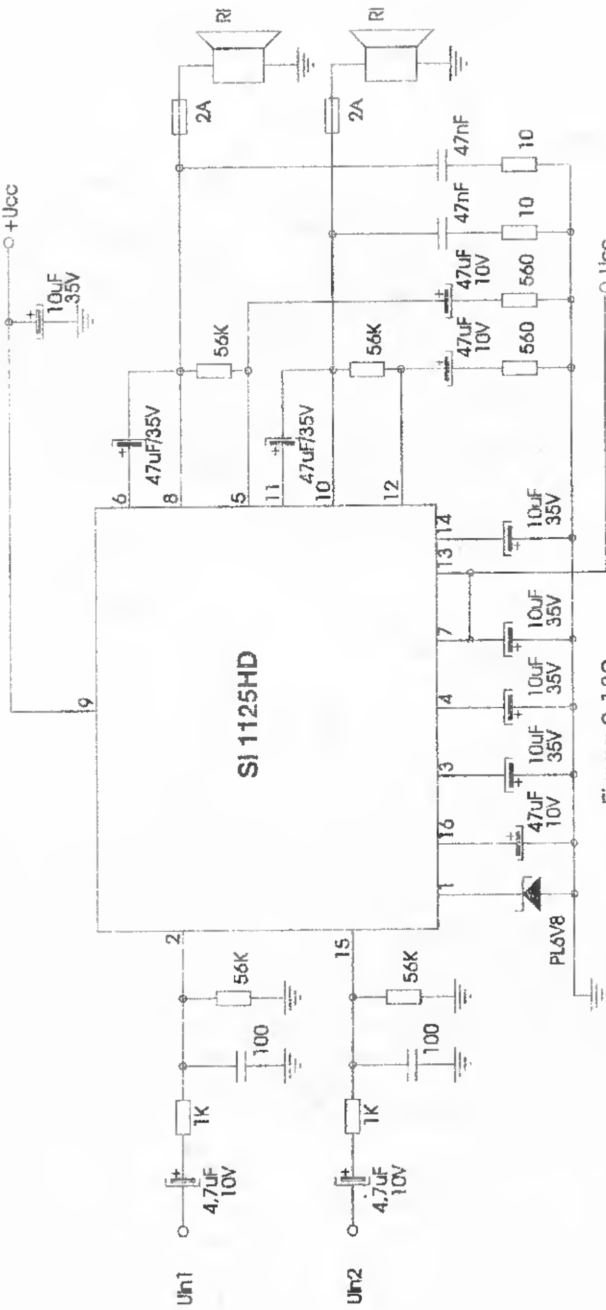

SI 1125HD
+Ucc
-Ucc
10uF 35V
47uF/35V
56K
47uF 10V
560
47nF
10
2A
Rl
PL6V8
100
1K
4,7uF 10V
Uin1
Uin2

Figura 2.139

Mai putem enumera: STK 4231, STK 4301, STK 4311, STK 4332, STK 4352, STK 4362, STK 4372, STK 4392, STK 4412, STK 4432. Și în cele din urmă: STK 4773, STK 4793, STK 4813, STK 4833, STK 4843, STK 4853, STK 4863, STK 4893, STK 4913.

Numai din această simplă înșiruire se pot vedea diversitatea și întinderea extrem de mare a componentelor acestei familii de amplificatoare de audiofrecvență, de tip STK. Numai acestea ar putea să constituie singure conținutul unei întregi cărți dedicate A.A.F. Volumul foarte mare de informație pe care l-ar necesita un asemenea demers ne împiedică să le luăm în discuție în această lucrare.

Ne-am propus doar să le amintim, întrucât ele sunt foarte răspândite și apreciate în rândul audiofililor.

A.A.F. cu C.I. din seria LMXXXX

Seria de amplificatoare de audiofrecvență LMXXXX, realizată de binecunoscuta firmă NAȚIONAL SEMICONDUCTOR, este foarte răspândită pe piața de componente și foarte apreciată de către constructorii amatori sau profesioniști de aparatură electro-acustică.

Nu ne propunem să prezentăm întreaga gamă de aplicații care se pot obține cu C.I. din această serie, ci ne vom opri, în această lucrare, la două extrem de performante produse cu unele dintre ultimele realizări ale firmei: LM 3876 și LM 3886.

În **figura 2.140.** este prezentată schema unui A.A.F. realizat în principal cu C.I. de tip LM 3876, cu înalte performanțe și o putere de ieșire de 56 W.

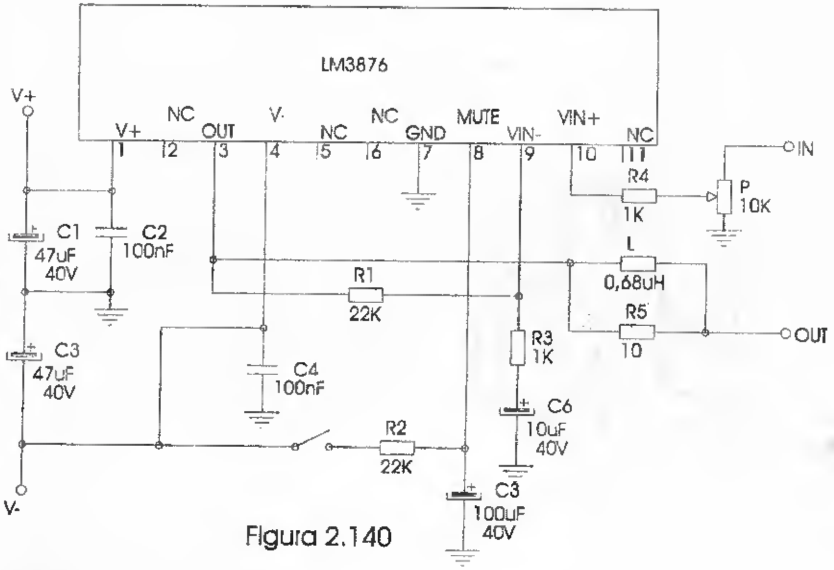


Figura 2.140

Montajul conține extrem de puține componente externe, fiind foarte simplu de realizat și având un gabarit redus. Performanțele muzicale oferite sunt foarte bune, distorsiunile totale (plus zgomotul) nu depășesc 0,1%, într-o plajă de frecvență cuprinsă între 20 Hz și 20 kHz.

Circuitul integrat folosit, de tip LM 3876, este foarte performant, conținând în structura sa internă circuite de protecție la supratensiune, suprasarcină și supraîncălzire. Acest circuit integrat menține un foarte bun raport semnal/zgomot (mai bun de 95 dB), nivelul său de zgomot nedepășind 2 mV. De asemenea, el are inclus un circuit MUTE!

În schema prezentată se poate observa că din potențiometrul P (10 kΩ) se poate regla nivelul tensiunii de intrare în amplificator, care se aplică pe pinul 10 al C.I. LM 3876 (V_{IN} + intrare neinversoare), putându-se astfel prescrie nivelul sonor dorit. Rezistorul R_4 limitează curentul pe această intrare a amplificatorului (care are o impedanță de intrare scăzută).

Rezistorul R_3 (de pe intrarea inversoare a amplificatorului), împreună cu R_1, determină amplificarea în curent alternativ a amplificatorului. Condensatorul C_6 este de reacție negativă, asigurând un câștig unitar (1) în curent continuu. Rezistența R_2 permite punerea în surdină a amplificatorului (MUTE) care îngăduie pinului 8 al C.I. să furnizeze un curent de 0,5 mA, când întrerupătorul K este închis (facilitatea MUTE – scoasă din funcțiune). Condensatorul C_5 asigură o constantă mare de timp pentru cuplarea și decuplarea funcției MUTE. Inductanța L (0,68 μH) prezintă o reactanță mare la frecvențe ridicate, astfel încât rezistorul R_5 (10 Ω) să poată decupla o sarcină capacitivă, reducând astfel factorul de calitate Q al circuitului rezonant serie (datorat sarcinii capacitive). De asemenea, inductanța L asigură o reactanță scăzută la frecvențele joase, scurtcircuitând rezistorul R5 și permițând astfel trecerea semnalelor audio spre difuzor (sarcină de 8 Ω). Perechile de condensatoare C_1–C_3, C_2–C_4 asigură filtrarea tensiunilor de alimentare.

C.I. de tip LM 3876 trebuie să dispună de un radiator de răcire, a cărui suprafață depinde de puterea disipată de circuit, determinată de tensiunea de alimentare a montajului, cuprinsă între ± 12 V și 40 V, și impedanța sarcinii (8 Ω).

În **figura 2.141.** este prezentat cablajul acestui montaj.

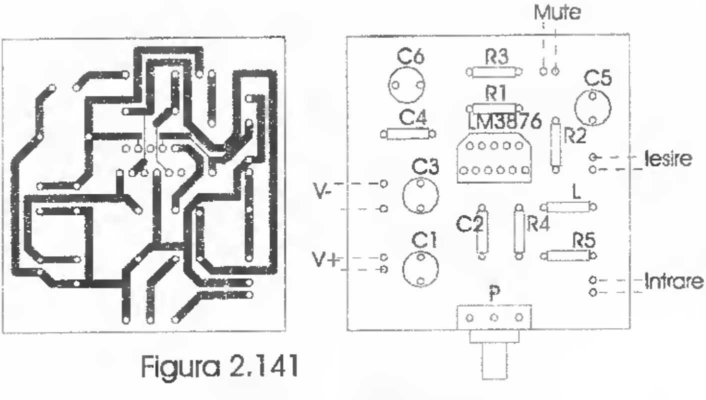


Figura 2.141

O altă schemă practică de amplificator de audiofrecvență extrem de performant, care poate livra 70 W și are avantajul că elimină tendința obișnuită a A.A.F. de a se satura (când se solicită mai multă putere), este prezentată în **figura 2.142.** Acesta este realizat cu circuitele integrate LM 3886 și LF 356 (sau TL 081, ori alt echivalent JFET).

Amplificatorul prezentat poate livra o putere de ieșire de 70 W pe o sarcină de 4 Ω, sau de 50 W pe o sarcină de 8 Ω.

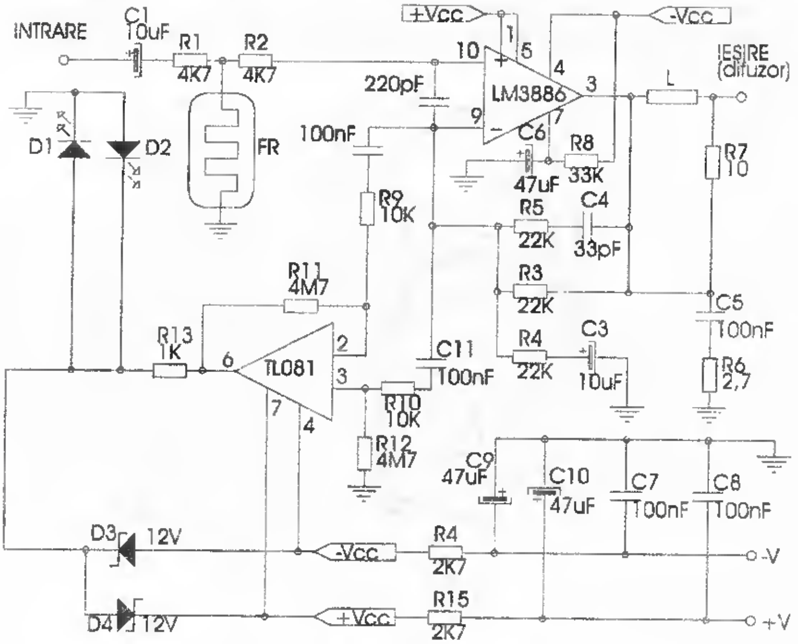


Figura 2.142

Alături de elementele clasice ale unui A.A.F., schema prezentată conține un sistem care poate detecta eventuala saturație a amplificatorului și determina o reducere a nivelului de intrare, pentru a elimina (sau, în orice caz, a micșora) această saturație. Principiul acestui sistem constă în detectarea, cu ajutorul unui amplificator diferențial, a diferenței dintre forma semnalului de intrare și cea a semnalului de ieșire, măsurată la intrarea amplificatorului. Aceasta primește atât tensiunea de intrare, cât și cea de reacție. Intrările sunt izolate față de tensiunile de c.c. prin intermediul unor condensatoare. Rezistențele de reacție negativă, de valoare foarte mare, pot fi utilizate datorită tehnologiei circuitului integrat LF 356 (TL 081), de tip JFET, având curenți de polarizare extrem de reduși (practic nuli).

Ieșirea amplificatorului atacă direct o pereche de diode electroluminiscente (de 3 mm, de înaltă luminozitate), una dintre ele funcționând pentru alternanțele pozitive, cealaltă pentru alternanțele negative. Aceste diode electroluminiscente luminează o fotorezistență a cărei rezistență ohmică scade când gradul de iluminare crește (această parte a montajului reprezintă un fel de optocuplor). Rezistența variabilă șuntează semnalul de intrare. Acest atenuator prezintă totuși dezavantajul că scade sensibilitatea montajului. Cele două diode electroluminiscente (montate una lângă alta) și fotorezistența vor fi plasate la întuneric (într-o incintă opacă), altfel, în cazul prezenței luminii, se va constata o reducere inacceptabilă a amplificării.

Alimentarea montajului se face cu o tensiune continuă simetrică, obținută (pentru un difuzor de 4 Ω) cu ajutorul unui transformator coborâtor de 120 VA, având 2 x 22 V în secundar și (pentru un difuzor de 8 Ω) cu un transformator de 80 VA, furnizând în secundar 2 x 25 V.

Tensiunile alternative din secundar sunt redresate și filtrate cu ajutorul unor condensatoare electrolitice de 4700 µF.

Cablajul montajului (fața placată și cea plantată) sunt prezentate în **figura 2.143**.

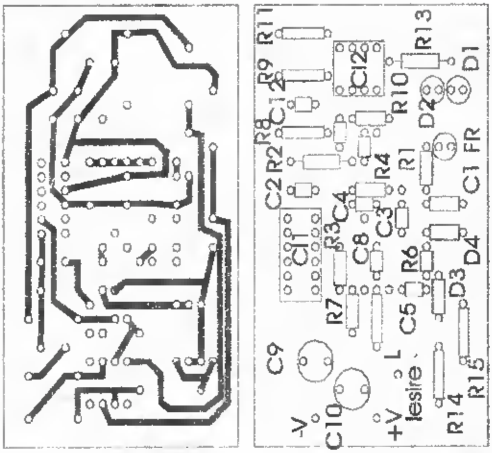


Figura 2.143

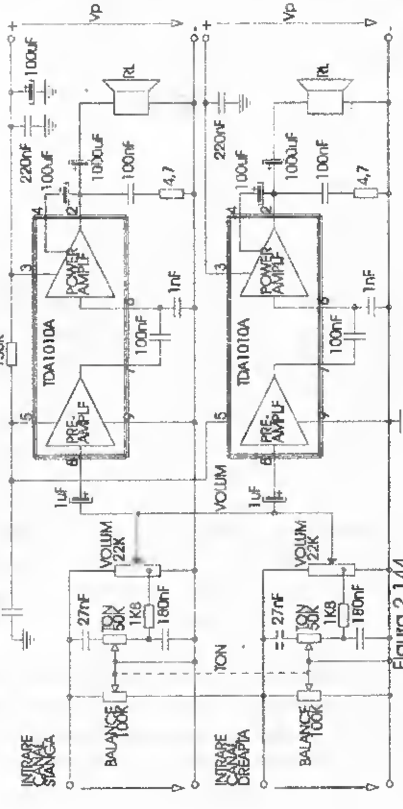


Figura 2.144

A.A.F. cu C.I. de tip TDA XXXX

Circuitele integrate amplificatoare de joasă frecvență (audiofrecvență) din familia TDA XXXX sunt printre cele mai răspândite și mai performante componente din această categorie.

În lucrarea de față nu au putut fi trecute în revistă toate tipurile de C.I. de tip TDA XXXX, din lipsă de spațiu, ci doar un număr destul de redus dintre acestea, dar (sperăm noi) reprezentativ. Nici tipurile de C.I. prezentate în lucrare nu au fost expuse extrem de amănunțit, ci doar de o manieră practică, care sperăm să fie pe placul constructorului electronist, căruia i se adresează cu predilecție această lucrare.

Un prim tip de astfel de C.I. este TDA 1010 A, care este un amplificator audio, clasă B, de 3,4 W (8Ω) până la 6,4 W (2Ω), sau 6,2 W (pe o impedanță de 4Ω), la o tensiune de alimentare cuprinsă între 12 V și 14,4 V. Distorsiunile armonice totale (la 1 W) sunt de 0,2%.

Impedanța de intrare a amplificatorului (pinul 6) este de 20 kΩ, iar cea a preamplificatorului încorporat (pinul 8) de 30 kΩ.

Curentul de repaus este de 31 mA (la 14 V), iar sensibilitatea de intrare pentru 5,8 W pe 4 Ω este de 10 mV.

Intensitatea curentului de vârf de ieșire este de 3 A.

Disipația maximă totală de putere este de 9 W, iar amplificarea (câștigul) totală în tensiune este cuprinsă între 51 și 57 dB.

Răspunsul în frecvență (la –3 dB) este cuprins între 80 Hz și 15 kHz.

Circuitul integrat TDA 1010, produs de firma Philips, se livrează în capsulă de plastic (SOT 110B) cu 9 pini în linie.

O schemă de aplicație cu două astfel de C.I., reprezentând un amplificator stereofonic, este prezentată în **figura 2.144**.

În **figura 2.145.** este prezentat un A.A.F. cu o putere de 2 W (pe 4 Ω), realizat cu C.I. de tip TDA 1016. Tensiunea de alimentare este cuprinsă între 3,6 V și 15 V (tipic 9 V), iar curentul „consumat" este de circa 10 mA. Amplificatorul prezintă o bandă de frecvență de circa 15 kHz.

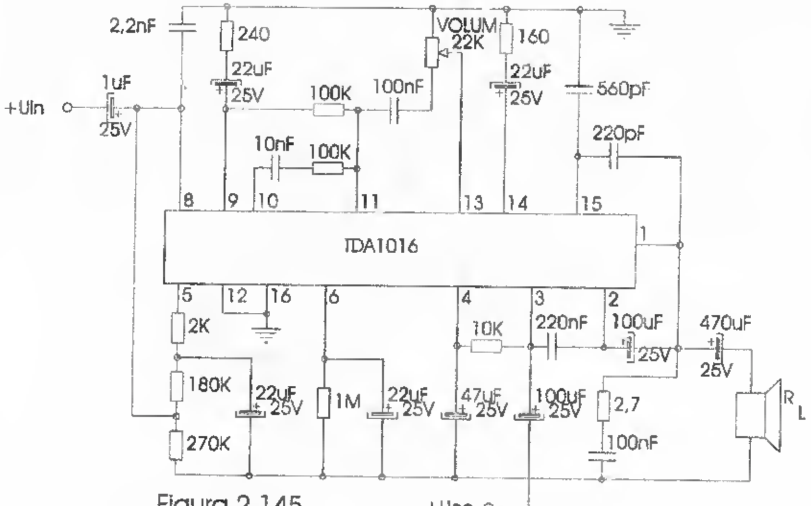


Figura 2.145

Un alt C.I. din această familie este TDA 1510, care este un dublu amplificator audio. Acest integrat poate fi utilizat pentru realizarea unor amplificatoare monofonice (în punte), cum este cel din **figura 2.146.**, sau pentru realizarea unor amplificatoare stereo, ca în **figura 2.147.**

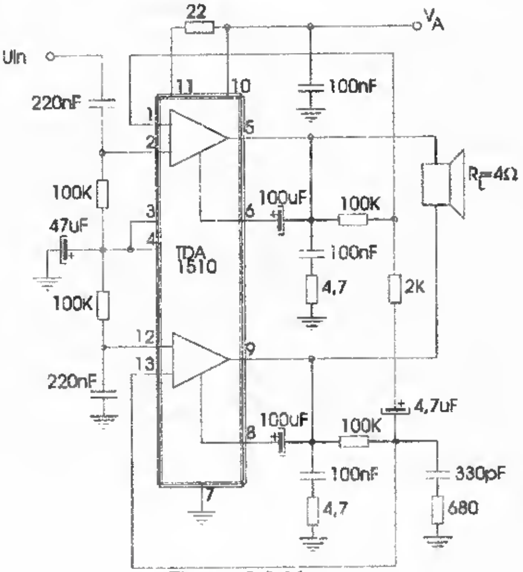


Figura 2.146

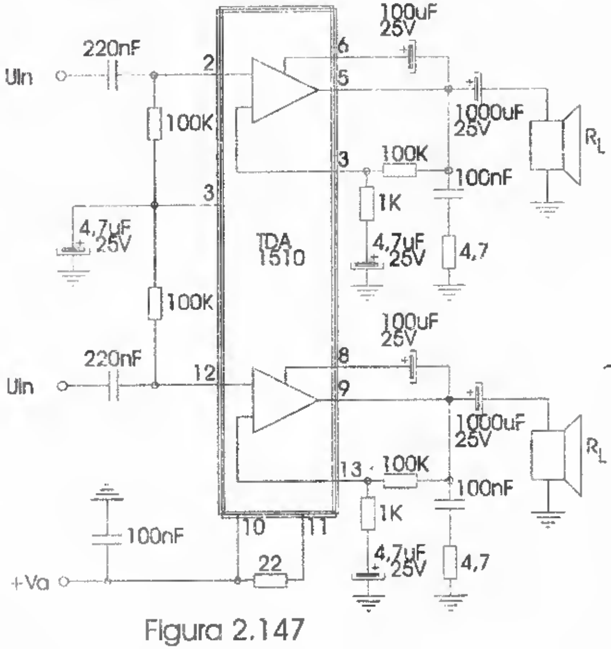


Figura 2.147

Caracteristicile electrice ale unui montaj în punte (mono) sunt următoarele:
- tensiunea de alimentare: 12 V ... 14,4 V;
- puterea de ieșire (pe o sarcină de 4 Ω): de la 18 W (distorsiuni totale de 0,5%) până la 24 W (distorsiuni totale 10%);
- rejecția alimentării: 50 dB;
- tensiune de decalaj între ieșiri (pinii 5 și 9): < 50 mV;
- răspunsul în frecvență: 20 Hz ... 20 kHz (63 Hz ... 12,5 kHz la puterea maximă);
- impedanța de intrare: 1 MΩ.

Caracteristicile electrice ale unui montaj stereofonic sunt următoarele:
- tensiunea de alimentare: 12 V ... 14,4 V;
- puterea de ieșire: 2 x 7 W (pe sarcină de 4 Ω), respectiv 2 x 12 W (pe sarcină de 2 Ω);
- distorsiuni totale maxime: 10%;
- răspuns în frecvență: 40 Hz ... 20 kHz;
- rejecția alimentării: 50 dB;
- separarea între căi: 50 dB;
- impedanța de intrare: 1 MΩ.

Un alt circuit integrat din această familie, produs de firma Philips, este TDA 1514 A (care este diferit de TDA 1514). În **figura 2.148.** prezentăm un amplificator audio stereofonic realizat cu două astfel de circuite integrate. Caracteristicile electrice ale acestui amplificator audio de putere, extrem de performant, sunt următoarele:
- puterea sinusoidală de ieșire (pe 4 Ω): 2 x 40 W;
- puterea sinusoidală de ieșire (pe 8 Ω): 2 x 30 W;

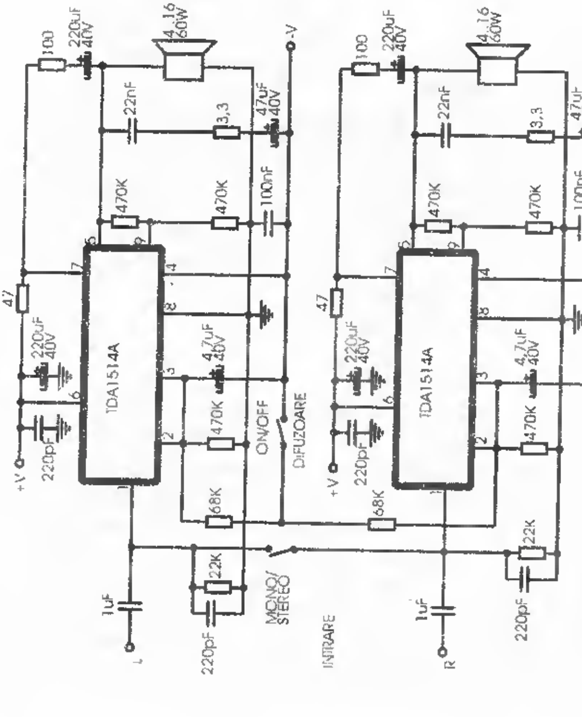


Figura 2.148

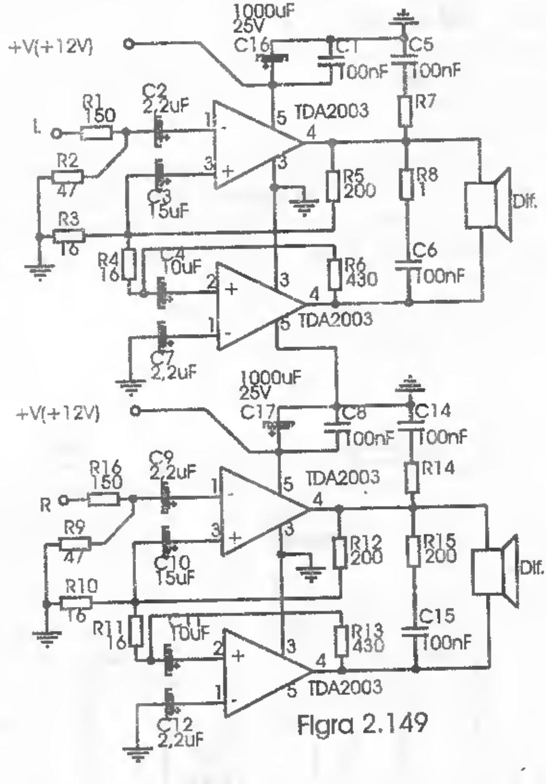
– gama de frecvență (pentru 1 W pe 8 Ω): 10 Hz … 65 kHz (la –3 dB);

– distorsiuni armonice totale (THD) și zgomot:

- la 20 W pe 4 Ω, 1 kHz: –57 dB;
- la 20 W pe 8 Ω, 1 kHz: –58 dB.

Circuitul integrat TDA 1514 A reprezintă un performant amplificator HI-FI (de 50 W) care necesită o tensiune de alimentare (între pinii 6 și 4) de min. ± 10 V și de max. ± 30 V.

Un alt montaj practic de amplificator de audio frecvență, având o putere eficace de 2 x 20 W, este cel din **figura 2.149.**, realizat cu ajutorul a patru C.I. de tip TDA 2003, conectate în punte două câte două.



Figra 2.149

Principiul de funcționare al unui montaj în punte constă în atacarea simultană a două amplificatoare, unul cu semnalul direct care trebuie amplificat, iar celălalt cu același semnal defazat cu 180°. Conectând difuzorul între ieșirile celor două amplificatoare, excursia de semnal care atacă difuzorul este dublă (fiecare amplificator în punte furnizând excursia unui amplificator clasic). Dublând tensiunea aplicată difuzorului vom obține o putere majorată de aproape patru ori. Se observă, în acest caz, că sarcina de ieșire a amplificatoarelor (difuzorul) nu este conectată între o ieșire și masă (ca în cazul clasic), ci între două „puncte calde". Este deci necesar ca ieșirile amplificatorului în punte să fie protejate contra scurtcircuitelor la masă.

Cele două canale (stânga și dreapta) sunt identice.

Divizorul rezistiv de la intrare (R_1/R_2) are rolul de a adapta intrarea amplificatorului TDA 203 (pinul 1) la nivelul semnalului primit (circa un sfert din valoarea semnalului). Condensatorul C_1 are rolul de a decupla semnalul de intrare și de a evita zgomotele din difuzor la pornire și la oprire.

Montajul prezentat se pretează foarte bine la realizarea unor sonorizări în autovehicul, de aceea alimentarea cu tensiune se va face de la bateria auto. Dacă bateria de acumulatori auto este bine încărcată, tensiunea ei va atinge 13,8 V și nu 12 V. Tensiunea de alimentare a C.I. de tip TDA 2003 are valoarea nominală de 18 V, dar poate atinge (accidental) valori de până la 28 V, fără riscul de distrugere a circuitului integrat.

Integratul TDA 2003 are o bandă de frecvență cuprinsă între 40 Hz și 15 kHz, pentru o sarcină de 4 Ω și o putere de ieșire de 1 W. De asemenea, TDA 2003 rezistă la inversări ale tensiunii de alimentare, precum și la scurtcircuitări la masă ale ieșirii, ca și la utilizarea unor sarcini inductive (între pinii 4 și 5 ai C.I. se află montată o diodă internă). Grupul R_7–C_6 asigură stabilitatea în frecvență a amplificării. Creșterea valorii lui R_7 sau scăderea valorii lui C_6 determină apariția oscilațiilor.

Cablajul acestui amplificator audio este prezentat în **figura 2.150**.

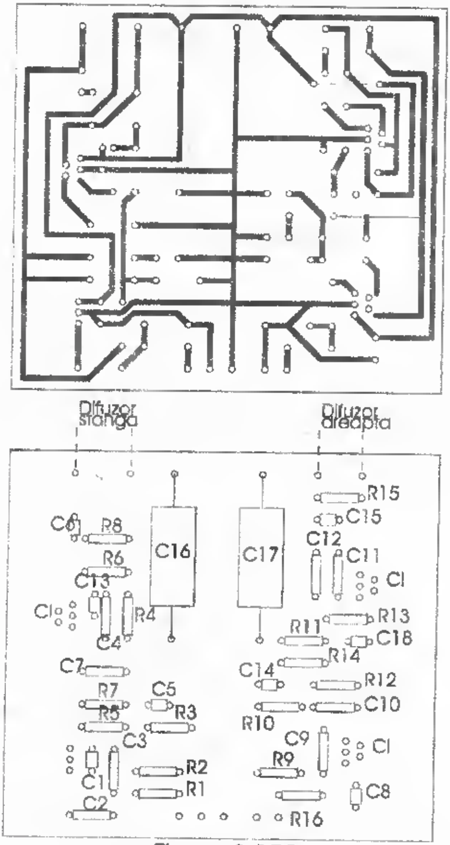


Figura 2.150

Se remarcă faptul că cele patru C.I. de tip TDA 2003 sunt prevăzute cu radiatoare de răcire. Este necesar ca acestea să nu se atingă (să nu facă contact).

Se utilizează două incinte acustice (difuzoare) de 4 Ω/50 W.

Alte două aplicații de A.A.F. realizate cu C.I. de tip TDA 2005 (TDA 2004) sunt prezentate în **figurile 2.151.** și respectiv **2.152**. Acest C.I. conține un dublu amplificator de joasă frecvență, care poate fi conectat în configurație stereofonică sau monofonică.

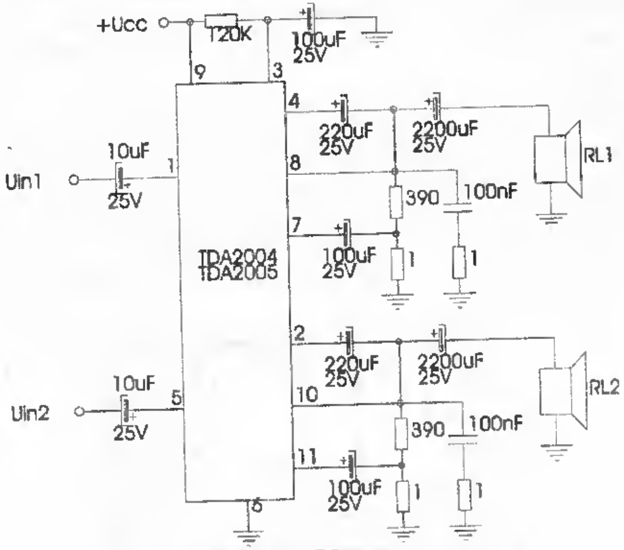


Figura 2.151

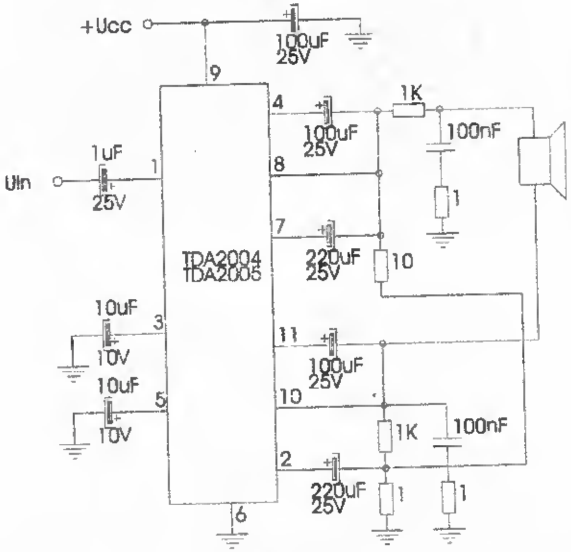


Figura 2.152

Circuitul integrat TDA 2004 (TDA 2005), produs la început de SGS-Ates, iar în prezent de mai multe firme, prezintă următoarele caracteristici electrice.

– tensiunea de alimentare nominală: 14,4 V (6 V min. și respectiv 18 V max.);
– curentul „consumat": 50 mA;
– rezistența de intrare: 200 kΩ;
– puterea totală de ieșire: 2 x 11 W;
– rezistența de sarcină (R_L): 1,6 Ω;
– gama de frecvență: 15 kHz.

Față de schema clasică de catalog cu două intrări (**figura 2.151**), în **figura 2.153** prezentăm o variantă a acesteia, care utilizează tot două difuzoare la ieșire, dar dispune de o singură intrare. Schema este concepută ținând cont că, în tehnologia actuală a difuzoarelor, nu este posibilă reproducerea în totalitate a spectrului sonor cerut de o audiție de înaltă calitate, cu un singur difuzor. Majoritatea incintelor utilizează de regulă două, trei (uneori chiar mai multe) difuzoare. Fiecare dintre aceste difuzoare va reproduce o bandă de frecvență determinată, repartiția diverselor frecvențe spre difuzoarele corespondente făcându-se cu ajutorul unor filtre incluse în incintă.

O soluție mai bună, atât în ceea ce privește filtrajul, cât și atacul difuzoarelor, constă în filtrarea semnalelor chiar de la ieșirea lor din preamplificator și montarea unui amplificator de putere înaintea fiecărui difuzor. Incintele care utilizează această tehnică sunt denumite incinte active, dar din cauza prețului de cost mai ridicat sunt mai rare.

Montajul din **figura 2.153.** prezintă o astfel de mini-incintă activă cu două căi, realizată cu un singur circuit integrat de tipul TDA 2005 și care livrează o putere eficace de 8 W.

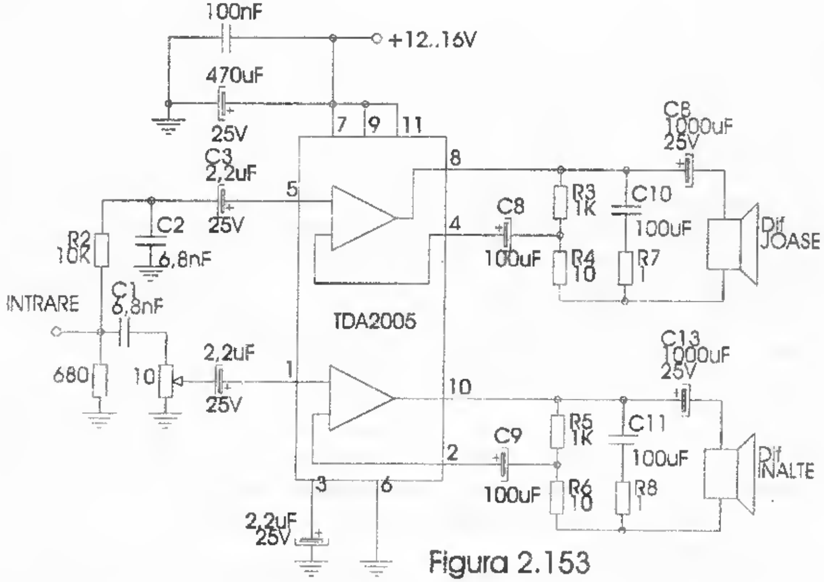


Figura 2.153

Cele două amplificatoare prezintă o amplificare (câștig) în tensiune de 100, dată de raportul între rezistoarele de 10 kΩ și 10 Ω. Rețeaua R–C (1 Ω – 0,1 μF)

asigură stabilitatea amplificatoarelor în prezența sarcinilor puternic reactive (permițând conectarea la ieșire a oricăror tipuri de difuzoare).

Intrarea amplificatorului de frecvențe joase (grave) este precedată de un filtru trece-jos, în timp ce amplificatorul de frecvențe înalte este precedat de un filtru trece-sus și un potențiometru. Cu ajutorul acestui potențiometru se face echilibrarea incintelor acustice, întrucât difuzoarele de joase și cele de înalte nu au randamente egale.

Frecvența de tăiere a filtrului este, în acest caz, de 2,3 kHz, dar ea poate fi modificată (în funcție de difuzoarele disponibile), conform relației: $f_t = ½ \pi \times R \times C$.

Montajul prezentat se alimentează cu tensiune continuă cuprinsă între 12 V și 16 V (în nici un caz nu se va depăși tensiunea de 18 V).

Cablajul montajului din **figura 2.153.** este prezentat în **figura 2.154.**

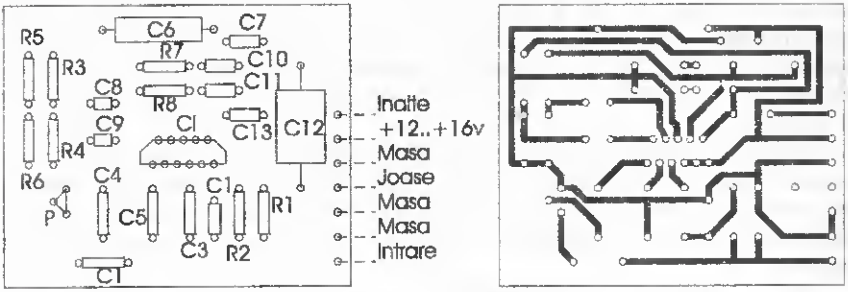


Figura 2.154

Față de schema de utilizare clasică a lui TDA 2004 (TDA 2005), recomandată de catalog și prezentată în **figura 2.152.**, expunem în **figura 2.155.** o variantă constructivă de amplificator audio cu o putere eficace de 15 W. Amplificatorul este destinat echipării de la bateria autovehiculului, care nu depășește valoarea de 14 V (când acesta se deplasează). Întrucât tensiunea de alimentare este destul de redusă, iar valoarea sarcinii (difuzorului) nu poate coborî prea mult (sub 4 Ω), deoarece în acest caz rezistența cablajului tinde să devină preponderentă, nu se vor putea obține puteri prea mari. Făcând un calcul simplu, putem observa că puterea eficace obținută cu aceste valori va fi de doar 6,2 W (și aceasta teoretic). În vederea creșterii acestei puteri obținute există puține soluții. Una dintre ele (rar folosită, pentru că este scumpă) constă în ridicarea valorii tensiunii bateriei cu ajutorul convertizoarelor statice. O altă soluție, mult mai convenabilă, preluată și de noi în acest montaj, o reprezintă adoptarea unei structuri în H, sau în punte (pe care am prezentat-o deja).

În montajul din **figura 2.155.** se remarcă faptul că amplificatorul din stânga lucrează ca amplificator neinversor, iar etajul din dreapta ca inversor. Difuzorul conectat între ieșirile celor două amplificatoare „vede" un semnal de amplitudine egală cu dublul tensiunii de alimentare. În acest mod, puterea furnizată atinge valoarea de 15 W pe o sarcină de 4 Ω, cu distorsiuni mai mici de 1 %.

Cablajul montajului (circuitul imprimat și schema de plantare a componentelor) este dat în **figura 2.156.**

Sensibilitatea de intrare a amplificatorului este de ordinul a 100 mV (pentru puterea maximă de ieșire). Montajul poate avea la intrare un potențiometru de reglare a sensibilității sau a volumului. Se va alege un potențiometru cu valoarea cuprinsă între 22 kΩ și 47 kΩ (logaritmic).

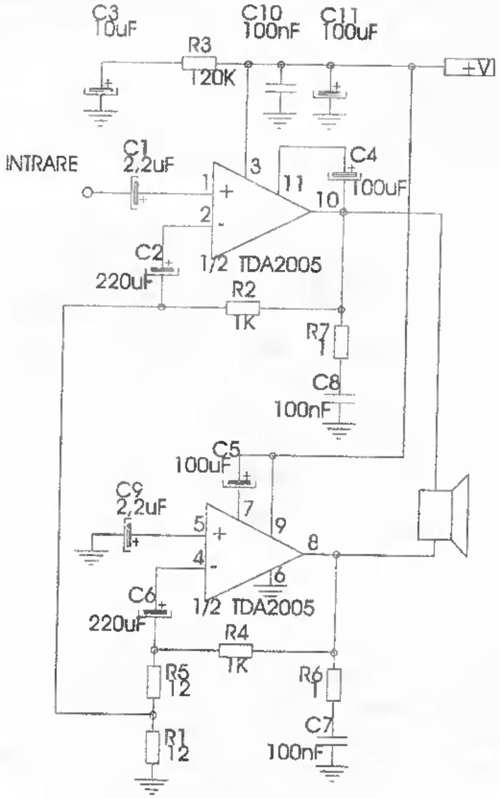


Figura 2.155

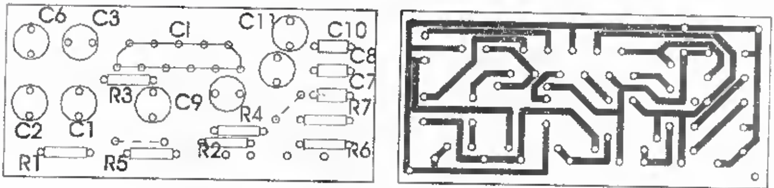


Figura 2.156

Alte circuite integrate cunoscute, având funcția de amplificator de audiofrecvență, a căror schemă de aplicație este prezentată în **figura 2.157.**, sunt TDA 2010 și TDA 2020.

Acestea prezintă următoarele caracteristici electrice:

– tensiune de alimentare

TDA 2010: 14 V nominal (5 V ... 18 V);

TDA 2020: 17 V nominal (5 V ... 22 V);

– curentul absorbit
TDA 2010: 45 mA;
TDA 2020: 60 mA;
– puterea totală de ieșire
TDA 2010: 15 W;
TDA 2020: 24 W.

Ambele C.I. prezintă o rezistență internă de 5 MΩ, o bandă de frecvență de 160 kHz și au sarcini de 4 Ω.

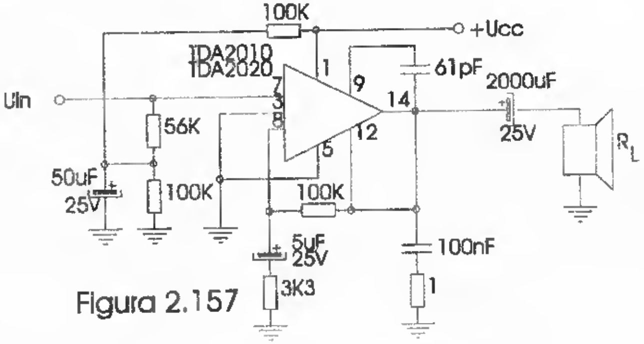


Figura 2.157

Circuitul integrat TDA 2025 este, de asemenea, foarte cunoscut și apreciat de constructorii electroniști. În **figura 2.158.** este prezentată schema unui canal dintr-un amplificator stereofonic realizat cu C.I. de tip TDA 2025 (conținând două canale identice). Tensiunea de alimentare a montajului este cuprinsă între +12 V și 36 V, dar montajul funcționează foarte bine și la tensiuni cuprinse în domeniul 8 V ... 42 V. Atragem atenția să nu se depășească tensiunea maximă admisibilă pentru C.I., care este de 48 V. Curentul furnizat la ieșire este de 4 A.

Circuitul TDA 2025 prezintă o putere maximă de ieșire de 40 W.

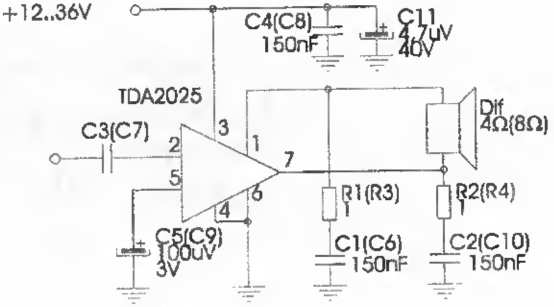


Figura 2.158

Menționăm că la creșterea tensiunii de alimentare trebuie să fie mărită și impedanța sarcinii (a difuzorului). Astfel, la tensiuni de alimentare de până la 22 V se poate utiliza o sarcină cu impedanța de 4 Ω, iar peste această tensiune (în domeniul 22 V ... 42 V) valoarea rezistenței de sarcină va fi mărită la 8 Ω.

Câștigul amplificatorului este de 36 dB, deci sensibilitatea sa este destul de bună (cca. 300 mV, cu impedanța de intrare de 10 kΩ).

Amplificatorul este protejat la scurtcircuit și supraîncălziri. Eventual, se poate monta un radiator pentru disiparea căldurii C.I.

În **figura 2.159.** este prezentat cablajul realizat în varianta stereo (conținând, deci, două montaje). Pe schema electrică sunt notate în paranteză codurile componentelor pentru cel de-al doilea amplificator.

Circuitele integrate TDA 2030 și TDA 2040 sunt livrate în capsule de tip TO 220/ 5 pini și prezintă puteri totale de ieșire de 18 W și respectiv 30 W.

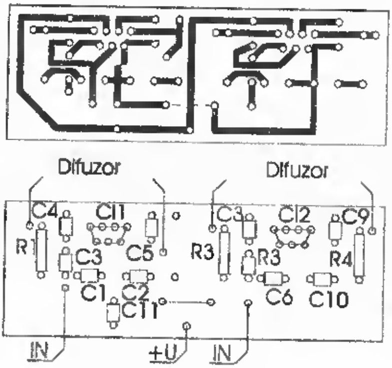


Figura 2.159

O schemă simplă de utilizare (normală) a acestor C.I. este dată în **figura 2.160.** Performanțele realizate cu ajutorul acestui montaj sunt demne de folosirea apelativului HI-FI.

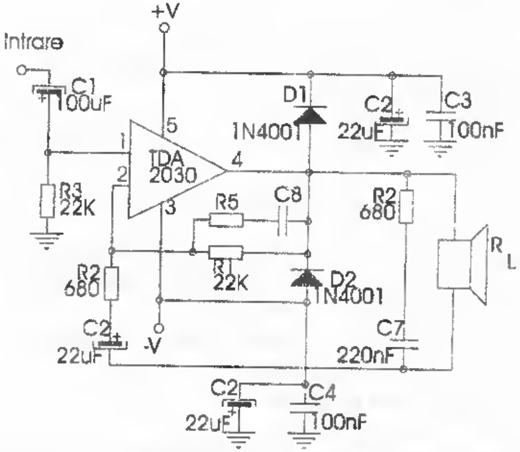


Figura 2.160

Câștigul (amplificarea) montajului este dat de raportul rezistențelor R_1 și R_2 și este fixat (în acest caz) la valoarea 32 (provenită din raportul 22 kΩ/680 Ω). Celula R_4–C_7 compensează variațiile impedanței difuzorului în funcție de frecvență și

îmbunătățește stabilitatea circuitului la sarcini complexe (de exemplu, în cazul incintelor conținând numeroase filtre).

Impedanța de intrare a montajului este determinată de valoarea rezistorului R_3 (22 kΩ), întrucât cea a circuitului integrat (5 MΩ) exercită o influență foarte redusă.

Banda de frecvență este limitată în ceea ce privește frecvențele joase, doar de valoarea condensatorului de intrare C_1 (1 µF), care formează împreună cu rezistorul R_3 (22 kΩ) un filtru trece-sus. În ceea ce privește frecvențele mari limitarea este dată doar de circuitul integrat TDA 2030.

Dacă apare riscul oscilațiilor, se va monta un condensator de valoare mică în paralel cu rezistorul R_1, în vederea reducerii benzii de trecere la înaltă frecvență.

Diodele D_1 și D_2 au rolul de a proteja circuitul integrat la apariția unor supratensiuni sau a unor tensiuni de polaritate inversă, apariție care este foarte probabilă ținând cont că difuzoarele reprezintă sarcini puternic inductive.

Dezavantajul acestui montaj constă în necesitatea utilizării unor surse de alimentare simetrice (± V_{cc}), care nu sunt întotdeauna disponibile.

Montajul din **figura 2.161.** oferă posibilitatea funcționării cu o alimentare monotensiune. Schema face apel la tradiționalul condensator de ieșire (C_4) care, dacă este de valoare suficient de mare, nu limitează prea mult banda de trecere (în special la frecvențe joase).

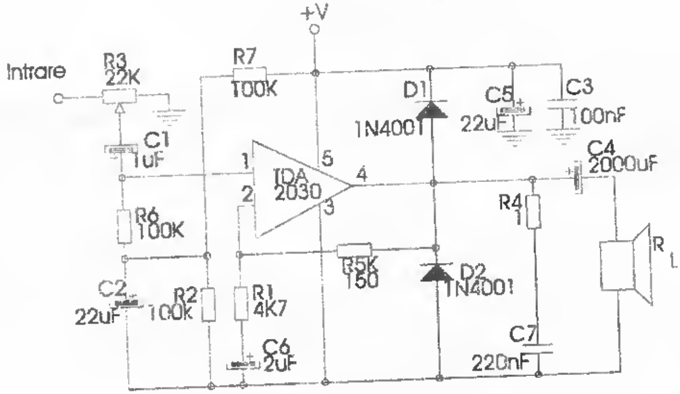


Figura 2.161

În vederea obținerii unei puteri de ieșire mai importante se utilizează un montaj în punte, cu două circuite integrate. Un astfel de montaj realizat cu două C.I. de tip TDA 2040 este prezentat în **figura 2.162**.

Circuitul integrat TDA 2040, produs mai întâi de către specialiștii firmei SGS-Ates, reprezintă un circuit monolitic în capsulă T0 220 cu 5 pini, capabil să furnizeze o putere de 30 W, să suporte o tensiune de alimentare de ±22 V (nominal ±17 V) și să livreze sarcinii un curent de 4 A.

Alimentat la o tensiune de 32 V, un circuit integrat poate debita 22 W (eficace) pe o sarcină de 4 Ω, cu mai puțin de 0,5% distorsiuni.

Circuitul integrat este protejat la absența sarcinii, a scurtcircuitelor la ieșire și a încălzirii excesive. Banda de trecere se întinde de la curent continuu la 100 kHz (la –3 dB), cu distorsiuni armonice totale de sub 0,08% în toată plaja de frecvență 40 Hz ... 15 kHz și de 0,1% la o putere de ieșire de 10 W.

Montajul în punte prezentat în **figura 2.162.** cu două C.I. de tip TDA 2040, alimentat cu ±16 V, oferă o putere eficace de 30 W. Câștigul primului amplificator (cel de deasupra din figură) este dat de raportul rezistențelor R_2/R_1 (22 kΩ/680 Ω), iar cel de-al doilea amplificator (având un câștig unitar) este conectat în configurație de defazor de putere. Acest al doilea amplificator prelevează tensiunea de ieșire a primului amplificator, pe care o adaugă propriei sale tensiuni de ieșire. Rezultatul acestei operații este trimis către intrarea inversoare și trebuie în mod necesar să fie nul, întrucât intrarea neinversoare (+) este conectată la masă. Cele două rezistențe prin intermediul cărora se realizează în sumarea celor două semnale sunt egale ca valoare (22 kΩ).

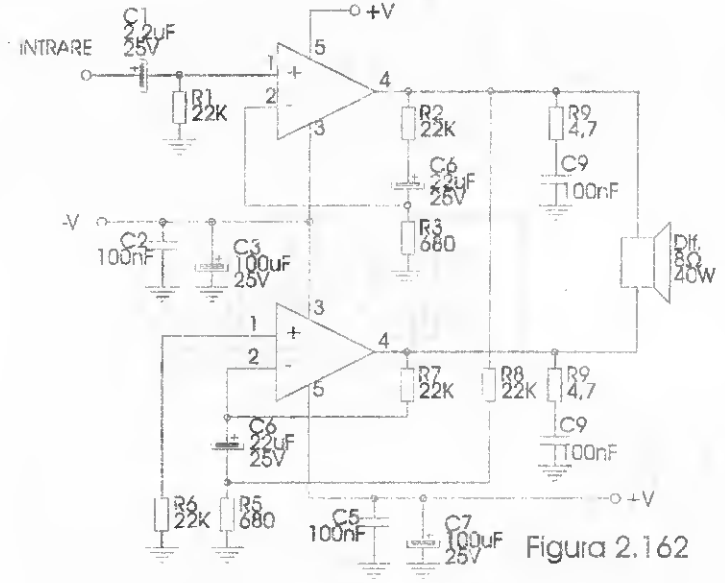


Figura 2.162

În mod teoretic, acest tip de montaj în punte permite obținerea la bornele difuzorului a unei tensiuni duble, deci a unei puteri cvadruple. În realitate, din cauza limitării curentului de ieșire la 4 A în acest caz, nu se poate obține o putere de patru ori mai mare față de cazul clasic, ci doar una dublă, ceea ce este oricum convenabil.

În **figura 2.163.** este prezentat cablajul acestui amplificator. Se recomandă montarea celor două C.I. (TDA 2040) pe radiatoare de răcire având o suprafață suficientă, căci în caz contrar poate intra în funcțiune protecția internă la supraîncălzire a acestor integrate. Radiatorul va fi comun celor două C.I. pentru ca acestea să se găsească la aceeași temperatură, dar va fi izolat de restul montajului, întrucât pinul 3 al lui TDA 2040 este conectat la partea metalică a capsulei acestuia.

Sensibilitatea montajului prezentat (pentru ca acesta să livreze puterea sa maximă) este de 480 mV, ceea ce îl face compatibil cu orice preamplificator clasic.

Impedanța difuzorului este de 8 Ω, iar sursa de alimentare trebuie să furnizeze ±16 V la un curent de 2 A.

Un micro-amplificator stereofonic realizat cu C.I. TDA 2822 M este prezentat în **figura 2.164**. Este un montaj clasic, realizat cu unul dintre primele circuite integrate puse pe piață de firma SGS-Thomson.

Circuitul integrat TDA 2822 M, utilizat în acest montaj, este în capsulă cu 8 pini (DIL), spre deosebire de TDA 2822 (fără sufixul M), care are o capsulă cu 14 pini și pentru care, dacă se utilizează, este necesară modificarea cablajului.

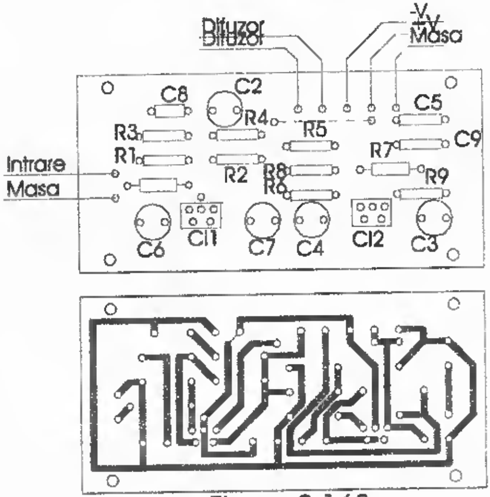


Figura 2.163

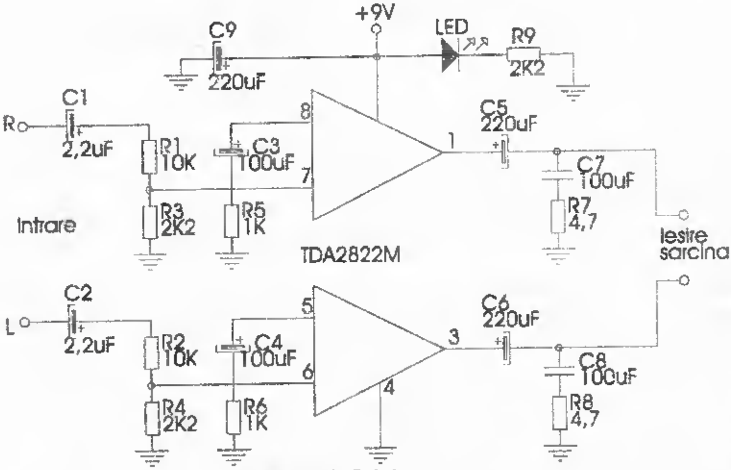


Figura 2.164

Circuitul integrat TDA 2822 M are o amplificare (câștig) foarte mare, ceea ce dă naștere unui zgomot de fond supărător în timpul audiției la cască. Remediul constă în reducerea acestei amplificări prin introducerea la intrările neinversoare ale C.I. (pinii 6 și 7) a unei rezistențe în serie cu condensatorul prevăzut de către fabricant. La ieșire se păstrează celulele Bucherot, care au rolul de reducere a impedanței de sarcină la frecvențe înalte.

Ieșirile amplificatoarelor de putere (pinii 1 și 3) sunt conectate la ieșire prin intermediul unor condensatoare (470 µF). Condensatorul C_9 filtrează tensiunea de alimentare.

Montajul se alimentează cu o tensiune de 9 V, eventual de la baterii. Prezența acestei tensiuni este semnalată cu ajutorul diodei electroluminiscente (LED). Deși aceasta consumă energie în timpul funcționării montajului, considerăm că ea este utilă întrucât semnalează prezența montajului sub tensiune.

Circuitul integrat TDA 2822 permite o plajă a tensiunilor de alimentare cuprinsă între 1,8 V și 15 V.

La o tensiune de alimentare de 9 V, cu o sarcină de 32 Ω, se livrează puterea de 300 mW (cu distorsiuni de 10%), iar cu aceeași tensiune de alimentare, dar cu o sarcină de 8 Ω (distorsiuni 10%), puterea este de 1 W. Pentru o sarcină de 4 Ω se obține puterea de 650 mW la o tensiune de alimentare de 6 V, și de 110 mW la o tensiune de 3 V.

Cablajul montajului este dat în **figura 2.165.**

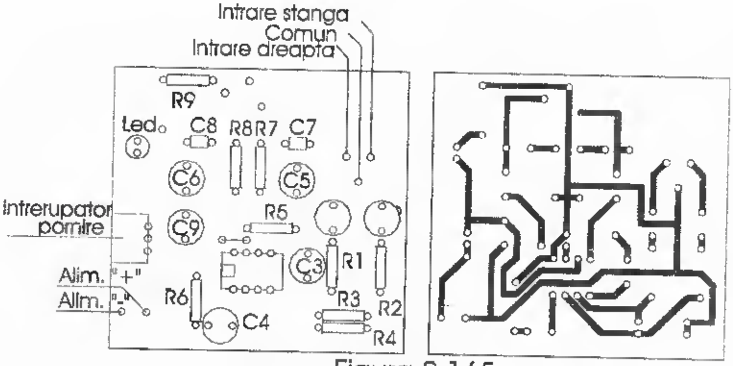


Figura 2.165

Un alt amplificator audio de putere stereo realizat cu C.I. specializate, de tip TDA 4930, TDA 4935, este prezentat în **figura 2.166**.

Puterea de ieșire totală oferită este de 2 x 10 W pe sarcină de 4 Ω, iar tensiunea maximă de alimentare este de 32 V. Tensiunea nominală de alimentare a integratelor este de 19 V pentru TDA 4930, și respectiv 24 V pentru TDA 4935.

Circuitul TDA 4930 (TDA 4935) este produs de firma Siemens în capsula 9-SIL.

Un alt montaj de amplificator realizat cu TDA 4930, dar cu o singură intrare și un singur difuzor de ieșire (conectat în punte), este prezentat în **figura 2.167**.

Este de remarcat numărul mic de componente externe necesar: condensatoarele de intrare, de decuplare, precum și celulele Bucherot (R_9–C_{14} și R_{10}–C_{15}).

Sensibilitatea acestui montaj este de 150 mV, valoare efectivă.

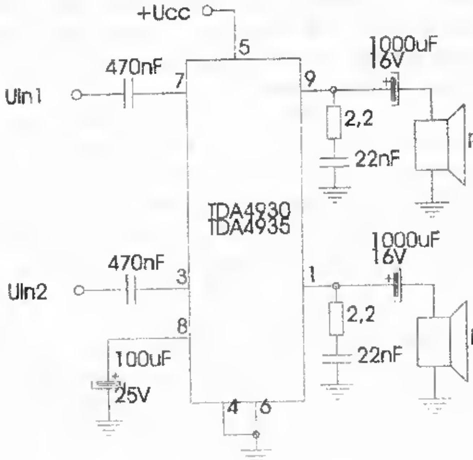


Figura 2.166

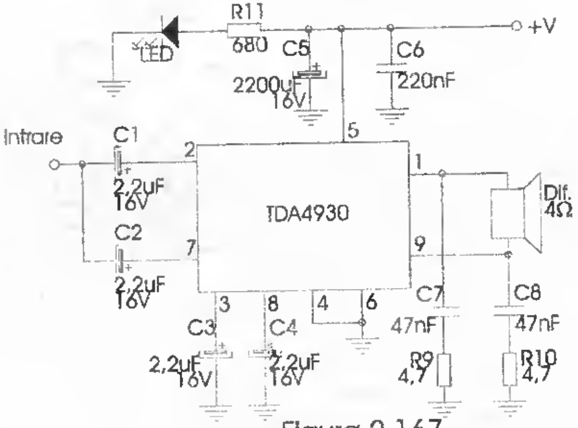


Figura 2.167

Un alt montaj care poate fi folosit în echipamentele auto, reprezentând un booster stereo, are schema de principiu ilustrată în **figura 2.168**.

Se remarcă prezența a două secțiuni identice, realizate fiecare, în principal, cu circuitul integrat de tip TDA 7241 (TDA 7240 A) produs de firma SGS-Thomson.

C.I. de tip TDA 7240 are o amplificare mai mare, în cazul utilizării nemaifiind necesară utilizarea rezistoarelor: R_1, R_6, R_7 și R_8. Modul de conectare în punte al amplificatorului elimină necesitatea unui condensator de ieșire.

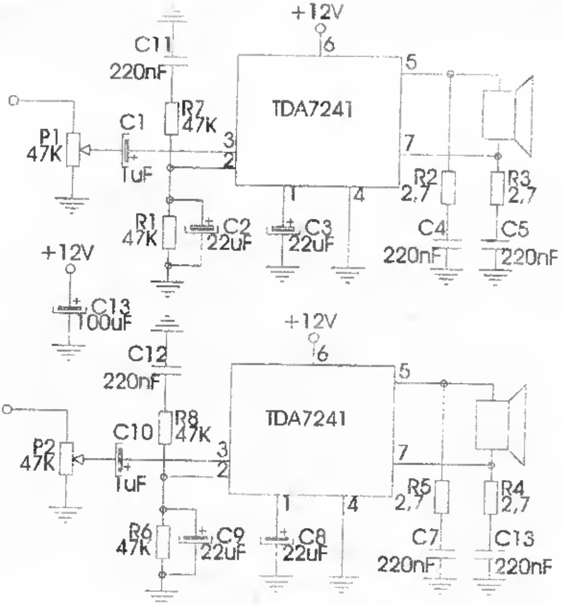


Figura 2.168

Utilizarea rețelelor Bucherot limitează riscul apariției oscilațiilor la ieșire. Semnalul de la intrare se aplică pe un potențiometru, permițând astfel dozarea balansului între cele două canale. Montajul se alimentează cu o tensiune de 12 V, eventual de la bateria auto. Când aceasta este bine încărcată și tensiunea ei atinge 14,4 V, se obține la ieșirea amplificatorului o putere de 15 W (cu un coeficient de distorsiuni mai mic de 1%). Rezistența difuzoarelor folosite este de 4 Ω (în cazul măririi valorii acestora va scădea puterea obținută la ieșire). Cablajul acestui montaj este prezentat în **figura 2. 169**.

Un amplificator de putere HI-FI stereofonic, extrem de performant, este prezentat în **figura 2.170**. Acesta este realizat în principal cu circuitul integrat de tip TDA 7250, produs de firma SGS-Thomson, și cu două perechi de tranzistoare complementare. Circuitul TDA 7250 reprezintă un driver pentru tranzistoare de putere, permițând realizarea cu un număr nu prea mare de componente externe a unui amplificator stereofonic cu o putere de ieșire de 2 x 60 W, eficace pe o sarcină de 8 Ω, sau de 2 x 100 W eficace pe 4 Ω, la o alimentare de ±35 V.

Alte caracteristici electrice ale acestui amplificator sunt:

– distorsiuni (pentru o putere eficace de 40 W): 0,004% pentru 1 kHz și 0,03% pentru 20 kHz;

– viteza de variație a tensiunii de ieșire: 10 V/μs;

– separația între canale: 75 dB;

– rejecția alimentărilor: 75 dB.

Tensiunea de alimentare a montajului poate varia între ±10% și ±35 V, caracteristicile amplificatorului rămânând neschimbate, cu excepția puterii de ieșire care, evident, variază.

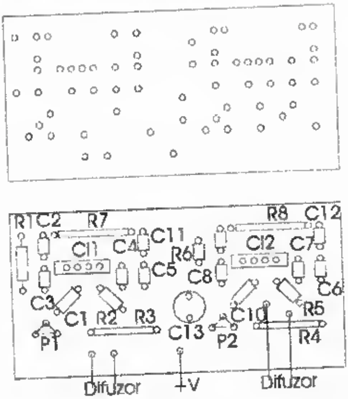


Figura 2.169

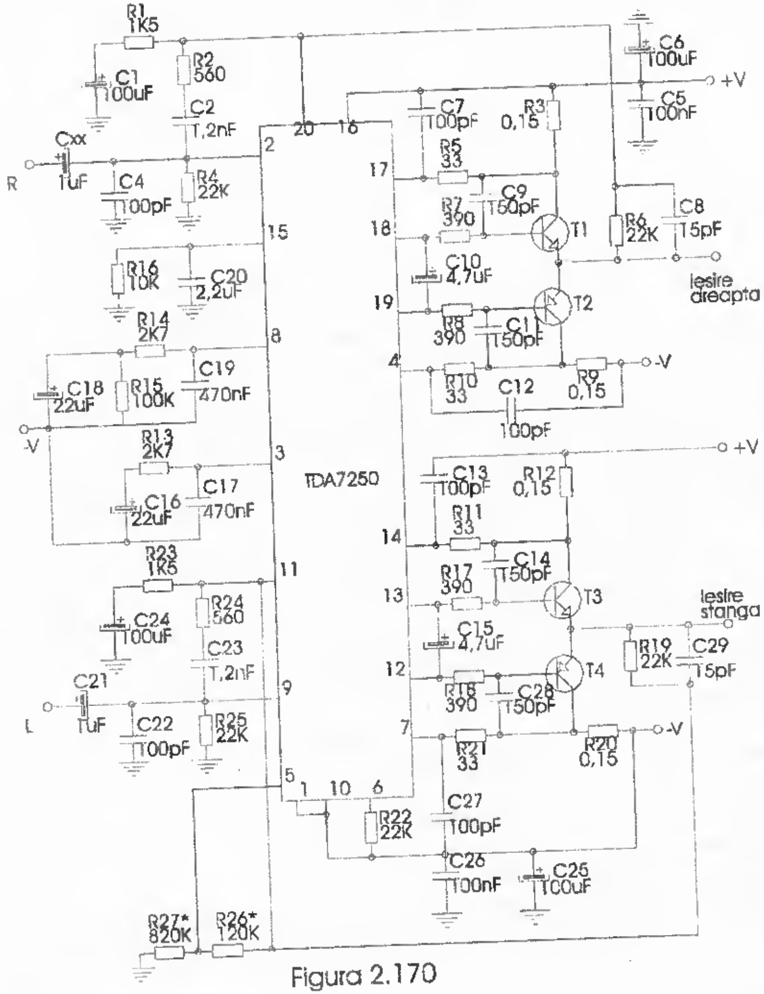


Figura 2.170

Amplificatorul prezentat este protejat la scurtcircuite și suprasarcini la ieșire. Tranzistoarele folosite sunt de tip Darlington, T_1 și T_3 de tip TIP 142 (echivalent cu BDV 65 B, BDV 67 A, BDW 83 C etc.), iar T_2 și T_4 de tip TIP 147 (echivalent BDV 64 B, BDV 66 A, BDW 84 C etc.).

Atenționăm asupra faptului că tensiunea de alimentare a montajului nu trebuie să depășească valoarea ±45 V, valoare maxim admisibilă pentru TDA 7250.

De asemenea, trebuie ținut cont de curenții foarte mari „consumați", de cca. 5 A (la o putere eficace de 100 W pe o sarcină de 4 Ω), ceea ce impune precauții la realizarea cablajului și a conexiunilor prin conductoare către difuzoare sau tranzistoare (grosimi corespunzătoare).

Circuitul imprimat al montajului și modul de implantare a componentelor sunt prezentate în **figura 2.171**.

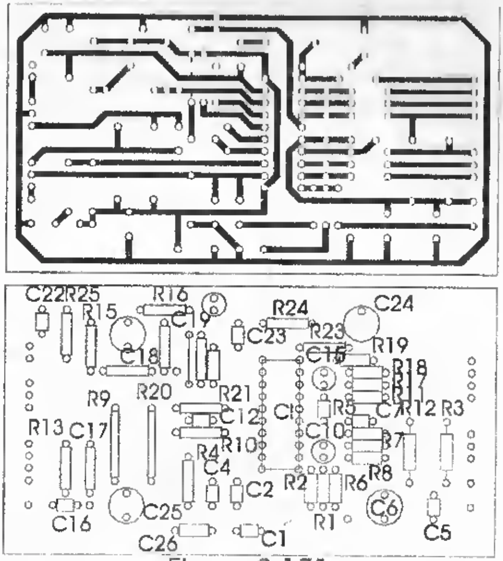


Figura 2.171

Un alt amplificator de joasă frecvență și înaltă fidelitate, realizat cu circuitul integrat specializat de tip TDA 7294, este prezentat în **figura 2.172**. Acest circuit integrat (TDA 7294), produs de firma SGS-Thomson, admite o plajă foarte largă a tensiunilor de alimentare (de la ±7 V la ±40 V) și poate furniza un curent foarte important, ceea ce conduce la posibilitatea realizării unui amplificator audio de putere (2 x 70 W pe sarcini de 4 Ω sau 8 Ω).

Circuitul integrat TDA 7294 este livrat în capsula Multiwatt 15 și poartă sufixul V pentru montare verticală și H pentru montare orizontală.

Curentul de repaus este de 30 mA (tipic), iar puterea oferită la ieșire este de 70 W (tipic), cu distorsiuni de 0,5%, pentru o tensiune de alimentare de ±35 V la o sarcină de 8 Ω, sau pentru o tensiune de alimentare de ±27 V la o sarcină de 4 Ω.

În montajul prezentat amplificatorul este monofonic, deci pentru obținerea unui amplificator stereofonic (de 2 x 70 W) se vor construi două montaje identice.

Menționăm că puterea de ieșire se poate mări, în mod artificial, până la 85 W, păstrând tensiunea de alimentare și sarcina, dar distorsiunile cresc până la 10%.

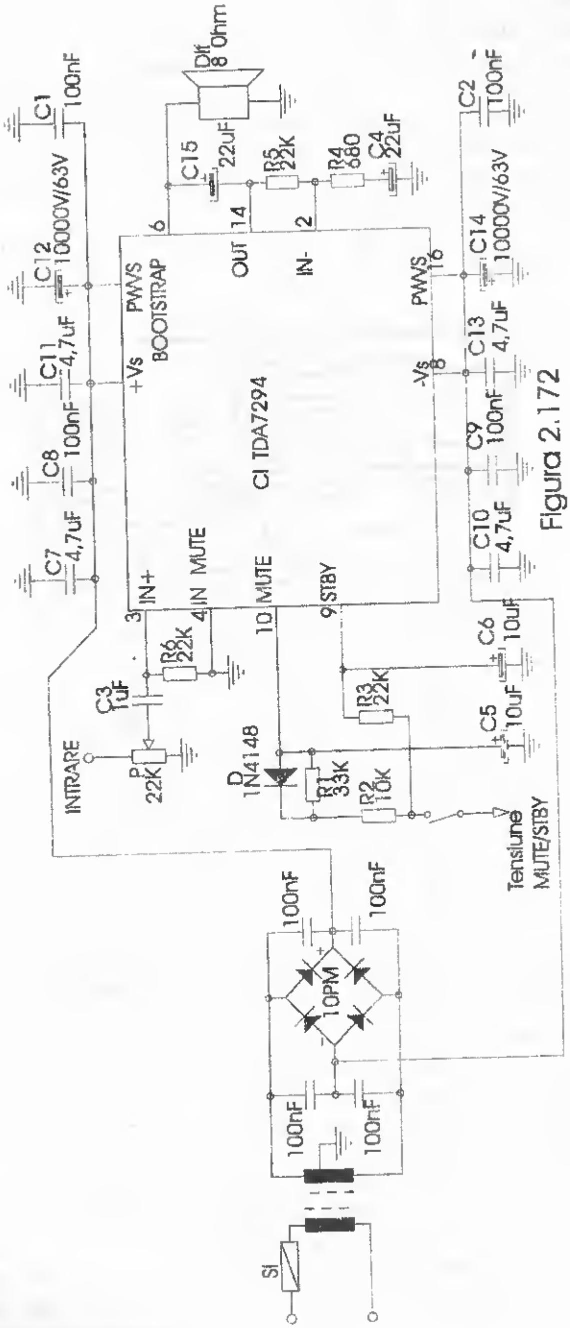

C1
100nF
C12
10000V/63V
C11
4,7uF
C8
100nF
C7
4,7uF
Dif
8 Ohm
C15
22uF
R5
22K
R4
680
C4
22uF
C2
100nF
C14
10000V/63V
C13
4,7uF
C9
100nF
C10
4,7uF
PWVS
BOOTSTRAP
+Vs
OUT
IN-
PWVS
-Vs
CI TDA7294
IN+
IN MUTE
MUTE
STBY
C6
10uF
R6
22K
C3
1uF
R3
22K
C5
10uF
INTRARE
P
22K
D
1N4148
R1
33K
R2
10K
Tensiune
MUTE/STBY
100nF
100nF
10PM
100nF
100nF
SI

Figura 2.172

De aceea, se preferă o putere mai redusă (70 W), dar cu distorsiuni foarte mici (0,4%). Se poate obține o reducere și mai drastică a factorului de distorsiuni (THD) la 0,08% la 20 Hz, lucru care implică micșorarea puterii de ieșire la 55 W, dar această intervenție nu este necesară din punctul de vedere al calității audiției.

Deși circuitul integrat TDA 7294 este prevăzut din construcție cu protecții termice, este totuși bine să se monteze siguranțe fuzibile la ieșirile etajului de putere. Protecția termică internă intervine la o temperatură de prag de 145°C, moment în care circuitul trece în starea MUTE, iar apoi, când temperatura atinge 150°, în starea STAND-BY.

Amplificatorul dispune, de asemenea, de funcțiile MUTE și STAND-BY condensate (la pinii 9 și 10) de către o tensiune externă de +5 V. Comutarea circuitului în aceste stări, ca și revenirea, se produc fără ca nici cel mai mic zgomot să se audă în difuzor. Grupul R_1–R_2–R_3–C_5–C_6 determină timpul de întârziere cu care se aplică funcția de MUTE și STAND-BY.

Câștigul montajului prezentat este de 30 dB (valoare recomandată de fabricant). Acesta se fixează cu ajutorul grupului rezistiv R_4 (680 Ω) și R_5 (22 kΩ). Rezistorul R_6 determină impedanța de intrare a amplificatorului. Se recomandă ca valoarea sa să fie egală cu cea a rezistenței de reacție R_5 (ambele având 22 kΩ).

Condensatorul C_3, de cuplaj pentru semnalul de intrare, are valoarea critică (1 µF), schimbarea valorii sale determinând modificarea frecvențelor redate de amplificator.

Condensatorului de reacție C_4 (22 µF) nu trebuie să i se modifice valoarea, în caz contrar vor fi afectate frecvențele joase.

Foarte importantă pentru buna funcționare a amplificatorului este decuplarea tensiunilor de alimentare. Condensatoarele electrolitice de filtraj C_{12} și C_{14} vor avea valori cât mai mari (10.000 µF/63 V). Câte două condensatoare nepolarizate de câte 4,7 µF pe fiecare tensiune (C_7, C_{11} și respectiv C_{10} și C_{13}) precum și câte unul de 100 nF (C_8 și C_9) vor asigura o bună decuplare.

Cele două tensiuni diferențiale sunt asigurate de către blocul de alimentare format dintr-un transformator de rețea (de preferință toroidal) cu două înfășurări secundare (de 24 ÷ 25 V fiecare) și o punte redresoare. În primarul transformatorului se montează o siguranță fuzibilă. Puntea de diode poate fi integrată sau realizată cu patru diode discrete (care trebuie să suporte fiecare un curent de 10 A). În paralel, pe diode se montează condensatoare (cu valoarea de 100 nF/100 V) pentru decuplare.

Semnalul de intrare al amplificatorului de putere prezentat, furnizat de către un preamplificator, se aplică prin intermediul potențiometrului de dozaj P (22kΩ). Difuzoarele utilizate (8 Ω) trebuie să suporte o putere de 100 W.

Cablajul montajului și schema de plantare a componentelor sunt date în **figura 2.173.**

O a doua aplicație cu C.I. de tip TDA 7294 este prezentată în **figura 2. 174.** și reprezintă un montaj în punte. Această schemă utilizează, evident, două astfel de circuite integrate. De remarcat numărul extrem de redus de componente externe folosite pentru un montaj cu asemenea performanțe, dintre care cele mai importante constau în puterea foarte mare obținută la ieșire cu tensiuni de alimentare relativ joase și valoarea mare a puterii furnizate chiar la sarcini cu impedanță ridicată (16 Ω).

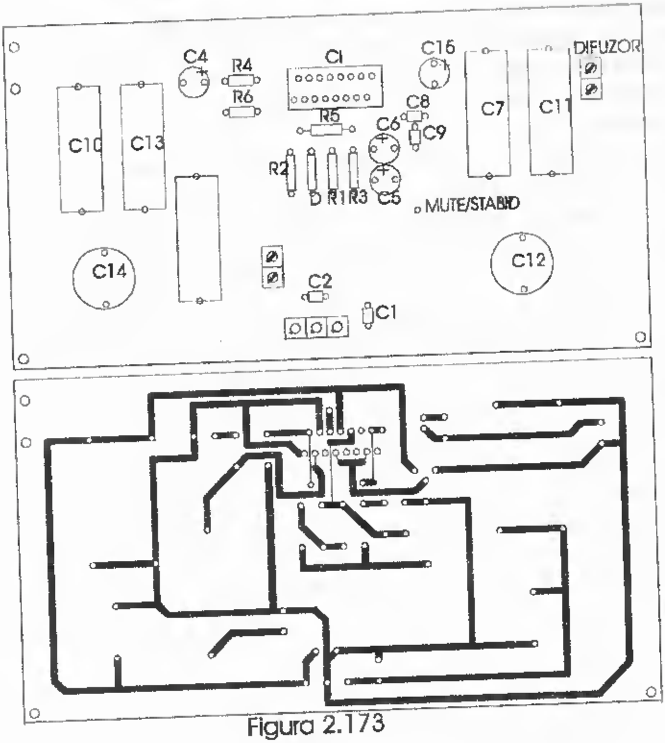


Figura 2.173

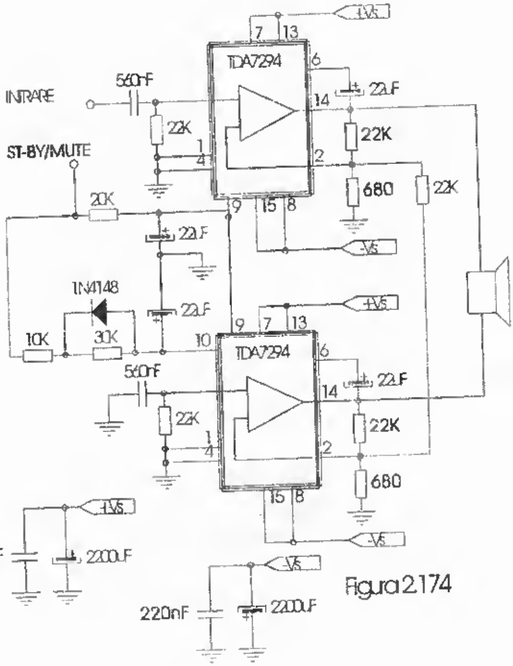


Figura 2.174

Amplificatorul în punte cu două C.I. de tip TDA 7294 poate furniza o putere de 150 W, pe o sarcină de 8 Ω, cu o tensiune de alimentare de ±25 V, sau o putere de 170 W pe o sarcină de 16 Ω, cu o tensiune de alimentare de ±35 V.

Pentru a se limita distorsiunile la valoarea de cel mult 0,1% ne vom mulțumi cu o putere de ieșire de 110 W pe o sarcină de 8 Ω, cu o tensiune de alimentare de ±25% și respectiv cu o putere de 130 W pe o sarcină de 16 Ω, cu o tensiune de ±35 V. Puterile menționate sunt puteri eficace.

În sfârșit, un ultim amplificator de audio frecvență realizat cu C.I., prezentat în această lucrare, este cel din **figura 2.175**.

Acesta este realizat cu C.I. specializat de tip TDA 7370, produs de SGS-Thomson, montat în configurație stereo, asigurând o putere de ieșire de 2 x 17 W. Se remarcă simplitatea deosebită a schemei (numărul extrem de redus al componentelor externe).

Dacă amplificatorul se utilizează în autovehicule și se alimentează cu o tensiune de 14 V, poate furniza o putere maximă de 22,5 W, pe o sarcină de 4 Ω.

C.I. de tip TDA 7370 se folosește nu numai la instalațiile de sonorizare, ci, în general, la echipamentele audio HI-FI.

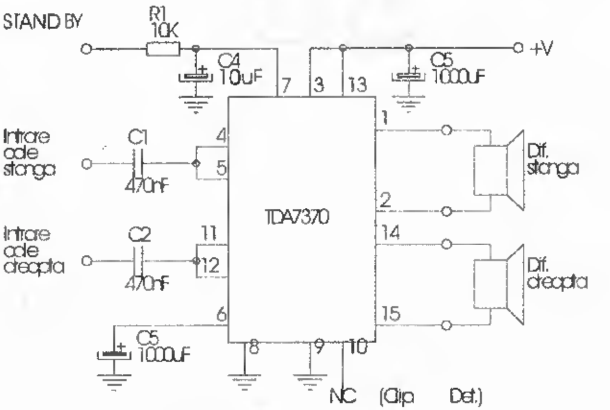


Figura 2.175

Pinul 7 al C.I. se va conecta, prin intermediul grupului R1–C4 care asigură o constantă de timp (STAND-BY) la plusul alimentării sau la masă; în primul caz amplificatoarele interne circuitului sunt conectate în câteva secunde de la apariția tensiunii de alimentare, iar în cel de-al doilea caz totul rămâne deconectat, integratul primind numai un curent redus de repaus, de circa 80 mA.

Cablajul acestui amplificator este dat în **figura 2.176**. Este necesar ca C.I. de tip TDA 7370 să fie montat pe un radiator de răcire.

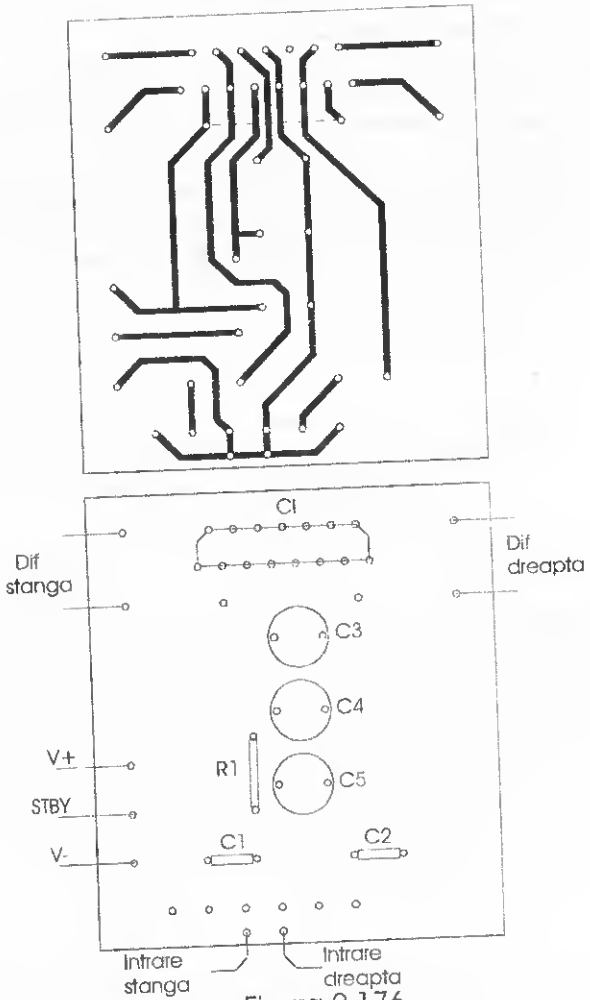

CI
Dif
stanga
Dif
dreapta
C3
C4
V+
R1
C5
STBY
V-
C1
C2
Intrare
stanga
Intrare
dreapta

Figura 2.176

LISTA CUPRINZÂND CELE 101 MONTAJE PRACTICE DE AMPLIFICATOARE AUDIO DE PUTERE

A. AMPLIFICATOARE AUDIO CU TUBURI

1. 3 W (fig. 2.2)
2. 3 W (fig. 2.4)
3. 4 W (fig. 2.5)
4. 4 W (fig. 2.6)
5. 6 W (fig. 2.7)
6. 8 W (fig. 2.8)
7. 8 W (fig. 2.10)
8. 10 W (fig. 2.11)
9. 10 W (fig. 2.12)
10. 12 W (fig. 2.13)
11. 12 W (fig. 2.14)
12. 25 W (fig. 2.15)
13. 30 W (fig. 2.17)

B. AMPLIFICATOARE AUDIO CU TRANZISTOARE

14. 5 W (fig. 2.19)
15. 10 W (fig. 2.20)
16. 17. 18. } 10–50 W (fig. 2.21–2.23)
19. 15 W (fig. 2.29)
20. 18 W (fig. 2.30)
21. 20 W (fig. 2.31)
22. 20 W (fig. 2.32)
23. 20 W (fig. 2.35)
24. 25 W (fig. 2.36)
25. 25 W (fig. 2.37)
26. 32 (55)W (fig. 2.38)
27. 35 W (fig. 2.39)
28. 35 W (fig. 2.40)
29. 40 W (fig. 2.41)
30. 40 W (fig. 2.42)
31. 40 W (fig. 2.44)
32. 40 W (fig. 2.45)
33. 40 W (fig. 2.46)
34. 50 W (fig. 2.47)
35. 50 W (fig. 2,48)
36. 50 W (fig. 2.49)
37. 50 W (fig. 2.50)
38. 60 W (fig. 2.51)
39. 60 W (fig. 2.52)
40. 75 W (fig. 2.53)
41. 80 (120) W (fig. 2.54)
42. 100 W (fig. 2.55)
43. 100 W (fig. 2.56)

C. AMPLIFICATOARE AUDIO CU TRANZISTOARE ȘI C.I.

44. 5 W (fig. 2.64)
45. 5 W (fig. 2.65)
46. 10 W (15, 20 W) (fig. 2.66)
47. 12 W (15 W) (fig. 2.67)
48. 20 W (fig. 2.70)
49. 25 W (fig. 2.71)
50. 25 W (fig. 2.72)
51. 25 W (fig. 2.73)
52. 30 W (fig. 2.75)
53. 30 W (fig. 2.77)
54. 40 W (fig. 2.78)
55. 40 W (fig. 2.83)
56. 50 W (fig. 2.87)
57. 60 W (fig. 2.89)
58. 70 W (fig. 2.92)
59. 80 W (fig. 2.95)
60. 100 W (fig. 2.96)
61. 200 W (fig. 2.97)

D. AMPLIFICATOARE AUDIO CU C.I. SPECIALIZATE

62. ROB151 (fig. 2.99)
63. TBA790T, TCA150T (fig. 2.101)
64. TBA790T, TCA150T (fig. 2.102)
65. TBA800 (fig. 2.104)
66. TBA810S (AS) (fig. 2.105)
67. TBA810S (fig. 2.106)
68. 2 x TBA810S (AS) (fig. 2.109)
69. TBA820M (fig. 2.111)
70. TBA820M (fig. 2.112)
71. A210K (fig. 2.113)

72. A211D (fig. 2.114)
73. A211D (fig. 2.115)
74. A2000Vm, A2005Vm (fig. 2.116)
75. A2000V, A2005 V (fig. 2.117)
76. UL 1481 – 1405 (fig. 2.118)
77. UL1461 (fig. 2.119)
78. UL1490 – 1498 (fig. 2.120, fig. 2.121)
79. K174YHXX (fig. 2.122 – 2.132)
80. GI1000 (fig. 2.133 – 2.139)
81. LM3876 (fig. 2.140)
82. LM3886 (fig. 142)
83. TDA1010 (fig. 2144)
84. TDA 1016 (fig. 2.145)
85. TDA1510 (fig. 2.146 și 2.147)
86. TDA1514 (fig. 2.148)
87. TDA2003 (fig. 2.149)
88. TDA2004/5 (fig. 2.151)
89. TDA2004/5 (fig. 2.152)
90. TDA2005 (fig. 2.153)
91. TDA2004 (fig. 2.155)
92. TDA 2010/20 (fig. 2.157)
93. TDA2025 (fig. 2.158)
94. TDA2030 (fig. 2/160, fig. 2.161)
95. TDA2040 (fig. 2.162)
96. TDA2822 (M) (fig. 2.164)
97. TDA4390 (fig. 2.166, fig. 2.167)
98. TDA 7240 (41) (fig. 2.168)
99. TDA7250 (fig. 2.170)
100. TDA7294 (fig. 2.172, fig. 2,174)
101. TDA7370 (fig. 2.175)

TA2025 -12.-
KIA 7343AP. 9.

BIBLIOGRAFIE

1. **Barna A.** – *Amplificatoare operaționale,* Ed. Tehnică, București, 1974.
2. **Bărbat B., Pesură Gh.** ș.a. – *Amplificatoare de audiofrecvență,* Ed. Tehnică, București, 1972.
3. **Bițoiu A.,** ș.a. – *Practica electronistului amator,* Ed. Albatros, București, 1964.
4. **Bodea M., Vătășescu, A.** ș.a. – *Circuite integrate liniare. Manual de utilizare,* vol. 1–4. Ed. Tehnică.
5. **Bulucea C., Vais M.** ș.a. – *Circuite integrate liniare,* Ed. Tehnică, București, 1975.
6. **Ciugudean M.** – *Proiectarea unor circuite electronice,* Ed. Facla, Timișoara, 1983.
7. **Ciugudean M.** s.a. – *Circuite integrate liniare. Aplicații.* Ed. Facla, Timișoara, 1986.
8. **Csabai D.** – *Tehnica sonorizării,* Ed. Tehnică, Bucureuști, 1983.
9. **Dascălu D., Turic L.** ș.a. – *Circuite electronice,* Ed. Didactică și Pedagogică 1981.
10. **Dragu I., Iosif I.** – *Amplificatori operaționali,* Ed. Militară, București 1981.
11. **Feștilă L., Simion E.** ș.a. – *Amplificatoare audio și sisteme muzicale,* Ed. Dacia, 1990.
12. **Găzdaru D.,** ș.a. – *Îndrumar pentru electroniști. Radio și televiziune,* Vol. 1., Ed. Tehnică, București, 1987.
13. **Hull M.D.** – *Audio amplifier systems,* Philips 1972.
14. **Iosif I.M.** – *Radiofonie pentru tineret,* Ed. Militară, București 1986.
15. **IPRS –Băneasa** – *Circuite integrate liniare – Catalog,* 1981.
16. **Lozneanu St.,** ș.a. – *Memoratorul radiotehnicianului,* Ed. Junimea, Iași 1985.
17. **Markus, J.** – *Electronic Circuits Manual,* McGraw Hill, 1971.
18. **Marian E.** ș.a. – *Montaje electronice de vacanță,* Ed. Albatros, 1988.
19. **Marian E.** – *Scheme și montaje de audiofrecvență* – Ed. Tehnică, 1992.
20. **Miron C.** – *Introducere în circuite electronice,* Ed. Dacia, Cluj-Napoca, 1983.
21. **Ponner I.** – *Electronică industrială,* Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1972.
22. **Râpeanu R.** ș.a. – *Circuite integrate analogice, Catalog,* Ed. Tehnică, București, 1983.
23. **Radu O.** – *Componente electronice pasive,* Ed. Tehnică, București, 1984.
24. **Ristea I.** – *Montaje electronice cu circuite integrate,* Ed. Dacia, Cluj-Napoca 1986.
25. **Simion E.** ș.a. – *Montaje electronice cu circuite integrate,* Ed. Dacia, Cluj-Napoca, 1986.
26. **Schlet Z.** ș.a. – *Semiconductoare și aplicații,* Ed. Facla 1981.
27. **Stanomir D.** – *Sisteme electroacustice, Câmpul, radiația și transducția,* Ed. Tehnică, București, 1984.
28. **Vătășescu, A.,** ș.a. – *Circuite cu semiconductoare în industrie,* Ed. Tehnică, București, 1971.

29. *** Colecția revistei *Tehnium* 1980–1998.
30. *** Colecția revistei *Le Haur-Parleur* (Franța), 1970–1984.
31. *** Colecția revistei *Radio (fosta URSS)* 1972–1987.
32. *** Colecția revistei *Audio Magazine* (Anglia) 1968–1987.
33. *** Catalogul revistei *Audio Magazine* (Anglia) 1968–1987.
34. Colecția revistei *ELEKTOR* – 1980–1997.
35. *** Catalogul firmei *DUAL*, 1989.
36. *** **Danci E. și Turuta E.** – *Catalog. Circuite integrate amplificatoare de putere în audiofrecvență*. Chișinău, 1993.
37. **Turuta E.** – *Amplificatoare audio de putere. Catalog de circuite integrat* – Seria Miraj,Virginia, 1998.
38. **Horia Cârstea** – *Amplificatoare audio de putere. Catalog* – Book Division RET Electronic, Timișoara.
39. Colecția revistei *Electronique Pratique.*
40. Colecția revistei *Radio-Român 1994–1998.*

CUPRINS

„ELECTRONICA APLICATĂ" la cel de-al 3-lea titlu

1. CONSIDERAȚII TEORETICE 7

1.1. Etajele funcționale din componența amplificatorului de audio frecvență de putere 7

1.2. Clase de funcționare ale etajului final din amplificatorul de audiofrecvență de putere 12

1.3. Puterea livrată de amplificatorul de audiofrecvență 19

1.4. Distorsiuni neliniare în amplificatoarele de audiofrecvență 20

1.5. Verificarea amplificatorului de audiofrecvență de putere 28

2. MONTAJE PRACTICE DE AMPLIFICATOARE DE AUDIOFRECVENȚĂ 33

2.1. Amplificatoare audio cu tuburi electronice 33

2.2. Amplificatoare audio cu tranzistoare 56

2.3. Amplificatoare audio cu tranzistoare și circuite integrate 127

2.4. Amplificatoare audio cu circuite integrate 178

BIBLIOGRAFIE 237

Redactor: Corina Tăbăraș

Tehnoredactor coordonator: Adrian Militaru

Tehnoredactare computerizată: Mariana Voica

Culegere text: Luminița Gavrilă, Ștefania Nuță

Grafica: AT GRAPHIQUE

• PUBLICITATE • RECLAMĂ •
• PREGĂTIREA FORMEI •
• SELECȚIE DE CULOARE • TIPAR •

București • Bd Ficusului nr. 42 A
TEL: 679 69 10 • 094 64 19 57